



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Adecuación de un vehículo eléctrico para evaluar el comportamiento de la potencia, voltaje, corriente y temperatura de las baterías con respecto al tiempo mientras está en funcionamiento y en estado de carga

Carlos Eiler Rodríguez Coca

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Eléctrica

Bogotá, Colombia

2013

Adecuación de un vehículo eléctrico para evaluar el comportamiento de la potencia, voltaje, corriente y temperatura de las baterías con respecto al tiempo mientras está en funcionamiento y en estado de carga

Carlos Eiler Rodríguez Coca

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Eléctrica

Director:

Ingeniero Francisco Javier Amórtegui Gil

Línea de Investigación:

Vehículos Eléctricos

Área:

Energías Renovables

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería Eléctrica
Bogotá, Colombia
2013

*A todas las personas que de una u otra forma han contribuido con mi
formación*

Agradecimientos

Al Padre bueno de infinita bondad, por permitir que todos los eventos marquen nuestras vidas.

A mi familia Todos por su apoyo constante mientras yo estudiaba, no saben cuánto los amo

Al sacerdote ANTONIO RAMÍREZ y a Los Misioneros de la Divina Redención por darnos la oportunidad de trabajar y así poder hacer de este proyecto una realidad, que Dios los bendiga.

A los sacerdotes, FRANCISCO, HERIBERTO, JORGE ELIECER, ILDE, RODRIGO, VITO, NICOLAS, JORGE IVAN, HUGO y muchos otros de la comunidad que han contribuido con mi formación gracias por la motivación.

Al ingeniero Francisco Javier Amórtegui Gil, mi director de tesis, por su orientación y paciencia durante el desarrollo del proyecto por no me abandono, gracias por ayudar a hacer este sueño realidad

Al grupo Scout 11 San Felipe Neri por toda una vida de formación mis hermanos

A todos los profesores de FUMDIR que me apoyan y me motivan

Agradecemos a la UNIVERSIDAD NACIONAL por haber me dado la oportunidad y las herramientas para la construcción y el desarrollo del conocimiento necesario para llevar a cabo este proyecto. Por qué siempre valdrá la pena representar la universidad con la frente muy en alto, en Colombia y en cualquier parte del mundo.

A la BIBLIOTECA de la universidad con todo su personal.

A todas las Secretaria que me ayudaron, ANA MARIA.

A los jurados José María Quintero y Javier Rocero porque con sus observaciones mejoran mi trabajo.

A las familias MORENO ANDRADE, RODRIGUEZ COCA, CHOCONTA ROJAS, ACERO MARTINEZ, MURCIA RIVEROS y MONTAÑEZ CARDENAS por su apoyo y comprensión.

A los ingenieros CAMILO MORENO, GUILLERMO TORRES, AGUSTIN AREVALO, ALEJANDRO MURCIA, ANDRES MURCIA, LIBARDO RAMIREZ, por el apoyo y motivación, todos hermanos

Al maestro y artista CARLOS ROSERO y su esposa por su formación.

A los ingenieros RENATO CESPEDES, ANTONIO MEJIA, FRANCISCO ROMAN, HORCIO TORRES, CARLOS SANCHEZ, ANDRES PAVAS, LUIS GALLEGOS, por su formación y motivación.

Al ingeniero LEONARDO RAMIREZ por su apoyo y colaboración.

A la docente JUDITH TURRIAGO por sus llamadas de atención que me han hecho llegar donde estoy.

A los docentes NIDIA PATRICIA HERRERA Y EDGAR LOPEZ por su apoyo y motivación siempre.

A mi padrino NESTOR JAIME MORENO MAHECHA, y toda su familia, por su apoyo y motivación.

A mi madrina Elizabeth y su hijo Cesar porque hace parte de nuestra familia

A mi Amigo JESUS ALFONSO CARDENAS, por su apoyo y motivación

A todos los docentes y estudiantes, que hicieron posible esta obra porque son tantos que no terminaría de nombrarlos.

A todos mis compañeros de maestría pero en especial a Katherine Camacho

A la ingeniera Laura Fernanda Ramírez por su paciencia y colaboración.

A Everardo, Cesar Caíta, Pedro Rico, German Alfonso Parra, María del Pilar Rodríguez colaboradores infinitos

A nuestros familiares y amigos quienes han dedicado tiempo y colaboración.

Resumen

Este proyecto pretende mostrar, por un lado, la adecuación de un vehículo de combustión interna para que funcione con energía eléctrica. El vehículo, denominado Prototipo CE1, fue construido para transportar dos personas con un peso de 85 kilogramos aproximadamente, cada una.

Dicha adecuación consistió en el acople de un motor eléctrico conectado a una transmisión o caja de cambios, un control de velocidad y un banco de baterías. El vehículo está compuesto por elementos mecánicos como chasis y carrocería, suspensión, dirección, frenos, transmisión.

Por otro lado se realizaron una serie de pruebas con el objetivo de evaluar el comportamiento de algunas variables que afectan el funcionamiento del Prototipo CE1 voltaje, corriente, potencia, velocidad, peso y temperatura de las baterías, y la autonomía de recorrido. Para ello se diseñaron varias pruebas a través de las cuales se observaron, midieron y analizaron las variables que son capturadas mediante sensores y transmitidas al pc, considerando estándares como la norma SAEJ1634 (para desempeño energético), ECE 15 (Ciclo Europeo Urbano) Y Standar de IEEE 1188 (para mantenimiento y pruebas de baterías de plomo ácido). El vehículo fue instrumentado con un computador portátil y una tarjeta de adquisición de datos (NI USB 6210 National Instruments), con los cuales se recibieron las variables. Las pruebas son de dos tipos dinámicas y estáticas; en las primeras se evaluó el consumo de energía, velocidad promedio, distancia recorrida, la temperatura de las baterías, la altitud promedio de topografía, y el peso. Las pruebas estáticas miden el consumo de energía y la temperatura del banco de baterías.

Palabras clave: Vehículos eléctricos, baterías para vehículos eléctricos, eficiencia en los vehículos eléctricos, temperatura de las baterías en el vehículo eléctrico

Abstract

Adaptation of a vehicle (internal combustion to electric power) to evaluate the performance of the power, voltage, current and temperature of the battery over time during operation and charging status.

This project aims to show the adequacy of internal combustion vehicle to run on electric power, the electric vehicle prototype **called CE1**, which was designed to carry two people with a weight of about 85 kilograms each.

The objectives of the electric vehicle are: Carrying a diversely skilled person (in disability status) who suffers from a diagnostic left hemiparesis, meaning that the person suffered a stroke brain or brain injury trauma, losing mobility in his left leg and his left arm part, the electric vehicle is automatic which gives it throttle and brake, which can be controlled with the right leg, giving the possibility that this population can use it and any normal person. Still another object is to reduce the amount of CO₂ generated by the internal combustion vehicle and reduce the amount of noise generated by all vehicles.

It consists of coupling an electric motor connected to a transmission or gearbox, speed control and battery bank consists of mechanical elements which can be grouped into the following: Chassis and bodywork, suspension, steering, brakes, transmission. The tests seek to evaluate the behavior of some variables that affect the operation of electric vehicles such as: voltage , current, power , speed , weight, temperature and battery autonomy of travel, tests were designed through which is observed, measures and analyzes variables that are captured by sensors and transmitted to the pc , considering standards as SAEJ1634 standard (for energy performance) , ECE 15 (Cycle European Urban) and Range of IEEE 1188 (for maintenance and testing of used lead acid) the vehicle is instrumented with a laptop and data acquisition board (National Instruments NI USB 6210) , where the variables are received. Tests are two dynamic and static types in the first energy consumption is evaluated, average speed, distance traveled, battery temperature, the average elevation of topography, and weight. Static tests evaluate the power consumption and temperature of the battery bank.

Keywords: speed, battery voltage, power, temperature, range of travel.

Contenido

	Pág.
1. Delimitación de la investigación.....	5
1.1 Investigaciones.....	5
1.2 Soluciones de almacenamiento	11
1.3 Normatividad	15
1.4 Marco teórico y conceptual.....	17
1.4.1 Tipos de vehículos híbridos.....	18
1.4.2 El vehículo eléctrico.....	19
1.4.3 Proceso de carga	20
2. Adecuación, descripción e instrumentación del Prototipo CE-1	21
2.1 Adecuación del Vehículo.....	21
2.1.1 Desensamble.....	22
2.1.2 Adaptación.....	23
2.1.3 Descripción estructural del Prototipo CE-1	32
2.1.4 Instrumentación	36
3. Metodología. Pruebas y análisis de resultados.....	42
3.1 Metodología para las pruebas estáticas.....	42
3.1.1 Análisis de variables y resultados de las pruebas estáticas	45
3.2 Metodología para las pruebas dinámicas.....	49
3.2.1 Análisis de variables y resultados de Pruebas Dinámicas (Prototipo CE-1 en movimiento)	52
3.3 Análisis Comparativo de resultados pruebas Dinámicas y Estáticas	56
4. Conclusiones	60

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Plano del funcionamiento del sistema auxiliar eléctrico	30
Ilustración 2. Mapa de pruebas	42
Ilustración 3. Diagrama de flujo Pruebas Estáticas (Vehículo en estado de recarga, conectado a la red eléctrica doméstica)	44
Ilustración 4. Diagrama de flujo Pruebas Dinámicas (Vehículo en funcionamiento).	51

Lista de fotografías

Fotografía 1. Vehículo de combustión interna como se adquirió	21
Fotografía 2. Chasis para inspección	22
Fotografía 3. Construcción del soporte de motor	23
Fotografía 4. Disco de Acople motor-chasis	24
Fotografía 5. Motor adaptado (chasis) transmisión	24
Fotografía 6. Soporte para las baterías-parte inferior del chasis	25
Fotografía 7. Soporte de las baterías. Vista superior	26
Fotografía 8. Instalación de control de velocidad	27
Fotografía 9. Chasis terminado	27
Fotografía 10. Restauración de fisuras	28
Fotografía 11. Carrocería para instalar en el chasis	29
Fotografía 12. Instalación de luces traseras y direccionales	29
Fotografía 13. Prototipo CE-1 en la grúa para peso	31
Fotografía 14. Prototipo CE-1 en la báscula para peso	32
Fotografía 15. Resistencia Shunt para estado dinámico	37
Fotografía 16. Resistencia Shunt para estado estático	38
Fotografía 17. Sensor inductivo en la llanta	39
Fotografía 18. Sensores termopares	40
Fotografía 19. Contador independiente de la bodega	41
Fotografía 20. Contador transportado para mediciones	41
Fotografía 21 - Recorrido prueba dinámica	50
Fotografía 22. Ruta de los ciclos ECE-15 adecuados	102
Fotografía 23. Prueba preliminar Autonomía sin carrocería	113
Fotografía 24. Prueba preliminar Autonomía con carrocería	114
Fotografía 25. Vista Frontal del CE-1 Adecuado	117
Fotografía 26. Vista Posterior del CE-1 Adecuado	117
Fotografía 27. Vista Superior del CE-1 Adecuado y Terminado	117
Fotografía 28. Vista lateral del CE-1 Adecuado y Terminado	118

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Eficiencia del cargador en cada una de las recargas	47
Tabla 2. Control de tiempo de recargas	48
Tabla 3. Ciclos y distancia	59
Tabla 4 - Tabla de tensiones	97
Tabla 5 - Tabla de corrientes.....	98
Tabla 6 - Tabla de potencia	99
Tabla 7. Velocidad adecuada para el Prototipo CE 1	101

Lista de Figuras

Figura 1. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería.....	13
Figura 2. Ciclos de vida que dependen de la temperatura	14
Figura 3. Correlación Temperatura Ambiente - Ciclos de Vida de la Batería	15
Figura 4 - Chasis. Prototipo CE-1.....	26
Figura 5. Componentes principales del Prototipo CE-1	32
Figura 6. Vista frontal Prototipo CE-1	33
Figura 7. Vista exterior lateral Prototipo CE-1.....	34
Figura 8. Vista posterior del Prototipo CE-1	35
Figura 9. Vista interna de los elementos más relevantes del chasis	36
Figura 10 - Comportamiento de la tensión durante la recarga	45
Figura 11. Comportamiento de la Corriente durante la recarga	46
Figura 12. Comportamiento de la Potencia.....	46
Figura 13. Comportamiento de la variables en estado de recarga.....	48
Figura 14. Comportamiento de la temperatura de las baterías	52
Figura 15. Comportamiento del voltaje en función del tiempo	53
Figura 16 - Comportamiento de la corriente en función del tiempo.....	53
Figura 17 - Comportamiento de la potencia en función del tiempo	54
Figura 18. Comportamiento de las variables del Prototipo CE 1 en pruebas dinámicas..	55
Figura 19. Efecto de Temperatura vs % de capacidad.....	57
Figura 20. Ciclos de vida vs Temperatura Ambiente	57

Figura 21. Resultados de la prueba estática 100 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	79
Figura 22. Resultados de prueba estática 100 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	81
Figura 23. Resultados de prueba estática 100 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	83
Figura 24. Resultados de la prueba estática 110 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	85
Figura 25. Resultados de la prueba estática 110 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	87
Figura 26. Resultados de la prueba estática 110 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	89
Figura 27. Resultados de la prueba estática 120 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	91
Figura 28. Resultados de la prueba estática 120 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	93
Figura 29. Resultados de la prueba estática 120 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente .	95
Figura 30. Ciclo Urbano Europeo Tipo ECE-15	100
Figura 31. Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1	101
Figura 32. Resultados del ejercicio 1 y 2, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.	102
Figura 33. Resultados del ejercicio 3, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia	104
Figura 34. Resultados del ejercicio 1 y 2 segunda repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.....	105
Figura 35. Resultados del ejercicio 3 segunda repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.....	107
Figura 36. Resultados del ejercicio 1 y 2 tercera repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.	108
Figura 37. Resultados del ejercicio 3 tercera repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.....	110
Figura 38. Autonomía sin carrocería	113
Figura 39. Autonomía con carrocería.....	114

Lista de anexos

ANEXO 1. Imágenes importantes de Prototipo CE-1 en computador.....	68
ANEXO 2. Planos diferentes vistas del Prototipo CE-1	70
ANEXO 3. Primera prueba estática a 100 v-1	79

ANEXO 4. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 100v-2.	81
ANEXO 5. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 100v-3.	83
ANEXO 6. Primera prueba estática con voltaje de recarga a 110v-1.	85
ANEXO 7. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 110v-2.	87
ANEXO 8. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 110v-3.	89
ANEXO 9. Primera prueba estática con voltaje de recarga a 120v-1.	91
ANEXO 10. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 120v-2.	93
ANEXO 11. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 120v-3.	95
ANEXO 12. Tabla de tensiones.....	97
ANEXO 13 - Tabla de corrientes.....	98
ANEXO 14 - Tabla de potencia	99
ANEXO 15. Pruebas Dinámicas Ciclo adecuado	100
ANEXO 16 - Prueba preliminar sin carrocería. Evaluación de autonomía, incidencia del peso.....	113
ANEXO 17 - Prueba preliminar con carrocería. Evaluación de autonomía, incidencia del peso.....	114
ANEXO 18. Ficha técnica de las baterías utilizadas.....	115
ANEXO 19. Fotografías del Vehículo Adecuado a Eléctrico Terminado.....	117

Lista de gráficas

Gráfica 1. Ciclo urbano europeo tipo ECE-15.....	16
--	----

Introducción

Es innegable que en la actualidad existe una preocupación generalizada a nivel internacional por los efectos de las emisiones de gases tóxicos como gas carbónico, metano, óxido nitroso, entre otros producto de la combustión de combustibles a base de hidrocarburos. Esta contaminación permanente ha causado enormes estragos al planeta y por consiguiente a las personas. A dicha problemática se suma la politización de la producción petrolera y las cada vez más escasas reservas de crudo.

Como respuesta a esas preocupaciones diferentes instituciones, tanto públicas como privadas vienen elaborando una amplia cantidad de investigaciones y propuestas para el perfeccionamiento, implementación y uso de energías limpias, con el fin de mitigar los efectos nocivos del calentamiento global y la contaminación del aire y por supuesto contrarrestar la dependencia de la energía a base de hidrocarburos.

Una de esas propuestas que está cobrando mayor relevancia y de la cual ya se comercializan varios prototipos a nivel mundial es la de los vehículos eléctricos. Esta alternativa está siendo utilizada en el transporte particular, pero se visualiza fuertemente como alternativa para el transporte masivo de pasajeros, ya no solo por su amigabilidad con el medio ambiente sino porque ha demostrado ser mucho más económica y por ende más rentable.

Si bien son múltiples las investigaciones que la comunidad académica y científica viene adelantando en lo tocante a energías alternativas en diferentes áreas, donde cobran mayor relevancia es en lo relacionado con la creación, perfeccionamiento, desarrollo, mecánica, materiales, instrumentos, normas, puesta a punto, etc., de las tecnologías enfocadas en los vehículos eléctricos. No obstante ser una tecnología que se proyecta a futuro como una buena alternativa, aún existen diferentes aspectos que siguen en proceso de investigación con el fin de llegar a niveles óptimos de rendimiento y autonomía. Cabe mencionar que en Bogotá no existe un análisis del comportamiento de las variables que afectan el rendimiento de un vehículo eléctrico, por tal motivo se hace indispensable realizar un estudio al respecto.

Es a la luz de esta necesidad donde surgió la idea de determinar el comportamiento de la potencia, el voltaje, la corriente y la temperatura de las baterías de un vehículo convertido a eléctrico con respecto al tiempo mientras está en funcionamiento y en estado de recarga. De ese modo se pudo establecer el consumo de energía del Prototipo eléctrico, se calculó su autonomía, se evaluó el comportamiento de la temperatura de las baterías cuando el vehículo se encuentra en estado de recarga y consumo de energía, así como el comportamiento del voltaje y la corriente con respecto al tiempo para determinar la energía consumida por el vehículo

Para ello fue necesario adecuar un vehículo de combustión interna a eléctrico al que se le realizaron una serie de ajustes. Una vez concluida la adaptación del motor al chasis y de la transmisión al motor, se procedió a adecuar el banco de baterías al chasis. Después se instalaron los sistemas de aceleración y frenado, y de luces, para posteriormente reinstalar la cojinería y la carrocería. Una vez realizada esta etapa se llevó a cabo la instrumentación (computador, sensores, resistencias, divisor de voltaje, etc.).

El proyecto se desarrolló bajo el concepto de investigación experimental descriptiva por cuanto determina tendencias de comportamiento a partir de las variables y se ubica en la modalidad de proyecto factible pues plantea una solución factible al proponer pruebas para vehículos eléctricos. Un proyecto factible está determinado porque el resultado de la investigación da soluciones a las necesidades o requerimientos de una institución y puede referirse a formulación de tecnologías, métodos o procesos.

Así las cosas, el modelo de investigación que se utilizó, es de tipo experimental descriptiva, por cuanto se basa en el análisis de las variables de los elementos que requiere el vehículo eléctrico para su desempeño eficaz. Esta investigación se basa en realidades de hechos, y su característica principal es la descripción, registro, análisis e interpretación correcta de los mismos.

Finalmente, la estructura que se le dio al texto producto de la investigación es como sigue. En un primer apartado se presenta de manera breve cuál es el contexto del problema y el porqué de la investigación. En un segundo apartado se encuentra una exploración, que no pretende ser exhaustiva, de investigaciones de tipo académico, que se han desarrollado en los últimos cinco años en algunos países, incluido Colombia. Después se encuentra un pequeño esbozo de la historia del vehículo eléctrico, con el ánimo de mostrar la relevancia de este tipo de propuestas; a continuación se presenta el marco teórico donde se muestran

las diferentes partes que conforman el Prototipo, su proceso de adecuación e instrumentación. A continuación se podrá encontrar la graficación, correspondiente a las mediciones realizadas en diferentes momentos. Para terminar, se presentan las conclusiones y algunas sugerencias, a partir, no solo de las mediciones sino de todo el proceso de investigación que se realizó en casi tres años de trabajo.

1. Delimitación de la investigación

1.1 Investigaciones

La idea del presente trabajo surgió de la necesidad de darle continuidad a uno de los estudios realizados por el grupo de investigación Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

Inicialmente se realizó el diseño de control remoto con una estructura de cuatro ruedas que se convirtió en un primer vehículo para una persona y capaz de ser cargado en cualquier tomacorriente; después el trabajo se dedicó al perfeccionamiento de aspectos como rediseño del sistema de dirección, adecuación del sistema de suspensión, reforzamiento de chasis, del sistema de frenos, diseño, construcción y montaje de guardabarros, la reconstrucción del sistema de aceleración etc. Finalmente se obtuvo un vehículo para una persona, que puede ser operado en lugares que no requieran un recorrido superior a 20 km y con una velocidad limitada a 25 km/h, aproximadamente [3].

De otro lado, el grupo Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética de la Universidad Nacional desarrolló un vehículo eléctrico para parapléjicos. Es un vehículo unipersonal, eléctrico a cuatro ruedas; está conformado por un chasis liviano y la carrocería de la plataforma, tiene un sistema de dirección y tracción para las ruedas; la potencia es suministrada por un conjunto de cuatro baterías de plomo ubicadas en la parte frontal de la plataforma. Cuenta con un freno de palanca o freno de mano, el torque es suministrado por un motor DC de 10 HP conectado al sistema de transmisión delantera; como controladores se usó un integrado SPF7302 (Full Bridge DC Motor Driver), con un regulador DC/DC, un puente H con IGBT'S [3].

Otra investigación como la de Imbett se centra en el rendimiento del vehículo eléctrico por cuanto considera que ya bastantes investigaciones se enfocan en la autonomía en detrimento de la anterior. Este estudio determinó que los tipos de tren más adecuados son los de relación fija entre el motor y el eje de transmisión ya que al agregar al eje de transmisión otros componentes se aumentan las ineficiencias del sistema. Sin embargo, mediante el tren de potencia se puede lograr una mejor distribución de los componentes de otros sistemas como la dirección y la suspensión del vehículo [4].

Torres et als., desarrollaron una investigación tendiente a determinar la rentabilidad técnica de un vehículo eléctrico, parcialmente híbrido (fuente de energía gasolina- eléctrica) que operará como taxi. Dicho estudio propuso la evaluación de parámetros tales como el desempeño mecánico (potencia, torque, RPM y desgaste del motor), el desempeño energético (economía de combustible y rendimiento de baterías) y el desempeño ambiental que tiene que ver con las emisiones de gases del vehículo, para lo cual se diseñaron pruebas experimentales y parámetros de medición [5].

Los autores utilizaron un vehículo parcialmente híbrido con capacidad para máximo de 5 pasajeros y logra una velocidad de 100 km/h. El 15 % del abastecimiento de energía lo da un sistema eléctrico compuesto por un motor eléctrico (17 HP nominales y 37 HP máximos) y las baterías (16 de 6 voltios). También posee un motor de combustión interna de 34 HP, 1 cilindro con 0,15L con tren motriz en paralelo.

Las pruebas tuvieron en cuenta estándares como la Norma Mexicana NMX - AA – 11- 1993- SCFT (para rendimiento ambiental), la norma SAE J 1491 (para pruebas de aceleración en el desempeño mecánico) y la SAE J1634 May93 (para desempeño energético).

La metodología plantea dos tipos de pruebas, unas de laboratorio y otras de tráfico real. Los parámetros medidos para el motor eléctrico y el térmico fueron: la potencia en HP, la velocidad de rotación; adicionalmente para el motor de combustión interna se efectuó la medición de temperatura en el múltiple de escape, en el depósito de aceite (carter), en la admisión de aire y en la entrada y salida del radiador. Así mismo se monitoreó el desgaste del motor por medio de la cantidad y calidad del aceite del motor.

Los aparatos y equipos a utilizar son un transductor de temperatura (OMEGA modelo CL24), termopar marca OMEGA, tipo K y un acelerómetro. Para la medición de combustible, un dispositivo compuesto por un tacógrafo de control de consumo, de marca PETROTRUCK; para la evaluación de rendimiento de las baterías un dinamómetro de chasis [5].

Los autores concluyen que llevando a cabo el procedimiento propuesto se obtendrán datos importantes sobre el potencial del vehículo pues a través de la pruebas se puede establecer la eficiencia en términos de costos de operación así como conocer la rentabilidad técnica y se puede además comparar esta tecnología con la tecnología convencional.

Otro estudio de Torres et als., estableció los parámetros técnicos y socioeconómicos para el desarrollo de un automóvil híbrido para operar como taxi en ciudad de México [5].

Al vehículo eléctrico desarrollado en el mismo centro de investigación se le adaptó un motor de combustión interna y celdas solares, convirtiéndolo en un vehículo híbrido. El proceso comprendió el estudio de prefactibilidad donde se evaluaron todos los aspectos socioeconómicos para el desarrollo del automóvil; el diseño del sistema híbrido y su adaptación al auto eléctrico, además de las adaptaciones necesarias para que funciones como taxi; la evaluación experimental del vehículo donde se miden los parámetros de rendimiento mecánico, energético y ambiental, la búsqueda de financiamiento del proyecto y la puesta en circulación de 20 unidades híbridas operando en distintos sitios [5].

La razón por la cual se le apuesta a los vehículos híbridos es porque representan una solución transitoria a los problemas de los vehículos solamente eléctricos. El vehículo estudiado posee un sistema de alimentación que cuenta con un banco de 10 baterías de 12 volt cada una, de tipo de plomo ácido, con capacidad de arranque rápido de 520 amperios.

En la evaluación del desempeño mecánico del automóvil híbrido se tuvieron en cuenta el motor de combustión interna, el motor eléctrico, el sistema de combustible y la transmisión y se siguió la norma SAE J1491 "Medida de la aceleración del vehículo" (SAE, 1995). La evaluación del rendimiento del banco de baterías se realizó bajo el protocolo SAE J 1634May 93 "Procedimiento de prueba para el consumo de energía de un vehículo eléctrico (TEA, 2001) y la evaluación del desempeño ambiental se realizó bajo la Norma mexicana MX-AA-11-1993-SCFT que se basa en lo establecido por la Agencia de Protección al Medio Ambiente [5].

Larrodé presenta una base teórica sobre el funcionamiento de los automóviles eléctricos, sus principales componentes, los criterios de diseño, los requerimientos para la selección de los diferentes tipos de tracción y su control, los tipos de baterías utilizadas y los nuevos avances en sistemas de alimentación [6].

La panorámica acerca de los pros y contras de los vehículos eléctricos presentado por Larrodé muestran las principales falencias que impiden surgir en los mercados mundiales como alternativas estables frente a sus homólogos con motor de combustión interna, especialmente en lo que tiene que ver con la autonomía y las prestaciones.

Ren et als., reconocen los grandes avances que han habido en los motores eléctricos, especialmente en el torque. Por eso su objetivo principal se centra en desarrollar un modelo simple de vehículo eléctrico que permita predecir el comportamiento del consumo de energía en relación con la caja de cambios ya que al utilizar una caja de cambios intermedia el motor funciona mejor. Las conclusiones principales a las que llegaron fueron: mejoras potenciales en eficiencia obtenible por utilización de transmisión dirigida, la mejora de la eficiencia asumiendo una caja de cambios continuamente variable se ajusta en un

5,3 %, sin embargo las pérdidas en transmisión contrarrestan dichos avances, por lo que el resultado neto sería cero. Otros beneficios potenciales de un sistema de transmisión están en la capacidad de conducción y la posibilidad de reducir en tamaño del motor. Al usar el ciclo USAFTP-75, la cual tiene diferentes balances entre equilibrio, aceleración y la constante de velocidad de marcha, la ganancia prevé como un 10,9 % [7, 41].

El artículo de Juan de Santiago et als., presenta una revisión crítica de las transmisiones en los vehículos eléctricos y aspectos del motor. Las ventajas y desventajas de cada tipo de motor eléctrico se analizan desde la perspectiva del sistema. Observan que no hay una equivalencia en millas por galón (mpg) o litros por kilómetro (l/km) para medir el rendimiento de los vehículos eléctricos. El primer galón de gasolina en el tanque tiene las mismas propiedades que el último mientras que “calidad” de la energía eléctrica del kW depende del estado de la carga (SOC). La eficiencia disminuye con el SOC y el tiempo de vida de la batería depende de la estrategia de cargado. El frenado regenerativo incrementa la eficacia pero reduce la vida de la batería. Estas mediciones de la eficiencia son aún más críticas en los vehículos híbridos donde dos fuentes de energía se combinan.

Con el objetivo de hacer posible la comparación entre los dos vehículos eléctricos, los autores proponen la adopción de un estándar en el ciclo de conducción o de otro tipo de métodos estandarizados que permitan una medición eficiente [8].

En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid se llevó a cabo una investigación titulada Análisis de la Influencia sobre el Sector Eléctrico de una Penetración a gran Escala del Coche Eléctrico. En él, el autor hace un análisis sobre las causas de la inusitada importancia que ha venido tomado el vehículo eléctrico en España. Establece desde el inicio que es claro que una de las principales motivaciones para abordar el tema es la preocupación generalizada por el cambio climático, el efecto invernadero y todos los problemas asociados a las emisiones de gases de los coches por el uso de combustibles fósiles [9].

La investigación se propone realizar una serie de simulaciones en un modelo matemático desarrollado en la universidad que simula el sistema eléctrico español y compara escenarios con una demanda eléctrica sin vehículos eléctricos frente a otros escenarios que incluyen el vehículo eléctrico. Se pretende determinar si la inclusión de vehículos eléctricos supone una diferencia sustancial en la operación del sistema, en las decisiones de inversión, si afecta la rentabilidad de determinadas tecnologías, si supone un encarecimiento en el precio de la electricidad y sobre todo si comporta un cambio en las emisiones hacia la atmósfera.

Para llegar a los resultados esperados realizaron una serie de actividades como modelar el vehículo a partir de suposiciones basadas en bibliografía para determinar la cantidad de energía que requiere el vehículo y el perfil horario de recarga que requerirá, similar los distintos escenarios con y sin vehículo eléctrico [9].

El autor considera que es necesario definir, en primer lugar y con la mayor precisión posible, la nueva demanda que el uso vehículo eléctrico va a representar. Esto abarca tanto la magnitud de la demanda (MW) como su distribución a lo largo de las horas del año para todo el horizonte temporal que se va a estudiar. Para ello se deben tener en cuenta no sólo las características técnicas del vehículo en cuanto a su consumo sino los patrones de uso que van a aparecer, por lo que es vital estudiar los hábitos de transporte de los ciudadanos. Cómo usan el coche, para qué y en qué horarios [9].

Becker tiene en cuenta aspectos socioeconómicos, culturales y políticos que van o están determinando el aumento del uso de los vehículos eléctricos, ya que socialmente hay mucha preocupación por el impacto ambiental del uso de los vehículos privados, lo cual se ha traducido en una voluntad política de impulsar modos alternativos de transporte privado. Y en esa carrera por sustituir el motor de explosión, el coche eléctrico (en sus diferentes variantes –híbrido enchufable) saca la ventaja. Este coche recibirá ayudas públicas en su desarrollo [9].

Por otro lado, Osorio y Gómez hacen una caracterización de las diferentes tecnologías de almacenamiento de energía para varias aplicaciones que se han desarrollado en el mercado. La investigación se centra en una nueva tecnología llamada (EDLC) por su nombre en inglés electrochemical double-layer capacitors que busca suplir las demandas modernas de almacenamiento de energía, especialmente para vehículos eléctrico [10].

Los autores llevan a cabo la clasificación y construcción de los acumuladores EDLC. Las ventajas que presentan estas nuevas tecnologías es que son capaces de almacenar una gran cantidad de energía frente a los condensadores convencionales y pueden entregar más poder que las baterías tradicionales. Tienen la posibilidad de soportar gran cantidad de ciclos de carga y descarga y también de cargar rápidamente.

Clasifican los condensadores en condensadores electrostáticos, condensadores electrolíticos y condensadores electro químicos. Los electrostáticos normalmente están compuestos por dos electrodos de metal (placas paralelas) separadas por un dieléctrico o material no conductor que se inserta entre las placas paralelas del

electrodo. El dieléctrico aumenta la capacidad total y la tensión máxima de funcionamiento del condensado [10].

El condensador electrolítico es parecido en su estructura al del electrostático pero tiene una sal de electrolito conductor en contacto directo con los electrodos metálicos. Los condensadores de aluminio se componen de dos láminas de aluminio (recubiertas de una capa aislante de óxido) y un separador de papel empapado en electrolíticos. La capa de óxido es muy delgada y sirve de dieléctrico, lo que se traduce en una mayor capacidad por unidad de volumen. En cuanto a los condensadores electroquímicos también se utilizan soluciones de electrolitos, pero tienen una capacidad aún mayor por unidad de volumen debido a la estructura porosa del electrodo, en comparación con los condensadores electrostáticos y electrolítico [10].

Entre la diversas aplicaciones que tiene los ultracondensadores está el uso en vehículos eléctricos ya que estos tienen limitaciones en cuanto a la baja densidad de potencia, limitación en los ciclos de carga y descarga, altas temperaturas, poca autonomía y largos tiempos de recarga, mientras que los ultracondensadores solo presentan limitaciones en la baja densidad de energía y altos costos [10].

De Santiago, J; et als., hacen un paralelo entre ventajas y desventajas de cada tipo de motor para luego determinar cuál es el motor eléctrico más indicado para los vehículos eléctricos. En cuanto al motor eléctrico señalan que la eficiencia del motor eléctrico depende de cada ciclo de conducción, igual que en el de combustión interna. Se caracteriza por las relaciones potencia/velocidad y torque/velocidad. La eficiencia depende del nivel de voltaje, esta cae en la línea de transmisión cuando es operada por debajo de la tensión nominal (carga baja de baterías) [11].

Esta investigación concluye que aún es limitado el alcance y el tiempo de recarga de los vehículos eléctricos, por lo que se trata de hacer más atractivo el sistema combinándolo con tracción eléctrica y motor de combustión interna (híbridos). La composición química de la batería ofrece un comportamiento no lineal de circuito equivalente. La potencia transitoria reduce drásticamente en tiempo de vida [11].

1.2 Soluciones de almacenamiento

Como se ha venido mencionando la optimización de las baterías en el mercado todavía es un problema por resolver. Así las cosas, los criterios que se ha tenido en cuenta para la selección de las baterías para la presente investigación obedecieron, en primer lugar, a lograr un almacenamiento económico y eficaz, si bien se cotejaron una serie de parámetros tales como el peso de la batería, resistencia a la vibración por su diseño en espirar frente a otros diseños en placas paralelas; tolerancia a las altas temperaturas, larga vida.

Concretamente las características de las baterías de plomo ácido son: bajo costo, voltaje de celda medio (2V); tecnología madura, pero mejorable; alto peso (densidad de energía baja); el plomo es un elemento contaminante (pero se recicla prácticamente el 100 %); eficiencia inferior al 100 % (no se utiliza la totalidad de la materia activa de las celdas); baja durabilidad y bajo efecto memoria”.

Si bien, a través de la historia la fabricación de baterías ha tenido varios tropiezos en cuanto a la optimización de aspectos como vida útil, autonomía y peso, en los últimos años el interés por el perfeccionamiento de este tipo de elementos ha tenido un repunte positivo. Un sistema de alimentación económico y eficiente es de los aspectos más importantes en el diseño de vehículos eléctricos, ya que define las características del vehículo. De igual importancia resultan los cargadores que reponen la energía usada por el vehículo. Por ello, y dada la importancia que ha cobrado el desarrollo de energías alternativas se puede ver una amplia gama de baterías de acuerdo con el par electroquímico que se utilice, por ejemplo ión- litio, litio-M- polímero, níquel metal hidruro (Ni-MH), níquel-cadmio (Ni-Cd), plomo- ácido (Lead- acid), sodio cloruro de nitrato (Na-NiCl_2) y olivino y zinc.

La batería es pues la forma de almacenamiento de energía de los vehículos eléctricos. Su principio básico de funcionamiento se basa en la producción de energía eléctrica por medio de reacciones químicas de oxidación-reducción que se dan en su interior.

Aquí cabe mencionar que existen diferentes tipos de baterías, tales como las de Plomo –ácido, éstas contienen plomo en el electrodo positivo, óxido de plomo en el electrodo negativo y utilizan ácido sulfúrico como electrolito, lo cual da una diferencia de potencial de 2V de media celda. Este tipo de batería tiende a desaparecer en el uso de vehículos eléctricos.

La batería de níquel-cadmio usa en sus celdas un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo compuesto de cadmio y una disolución de hidróxido de potasio como electrolito. A pesar de su larga vida (1000 a 1500 ciclos de recarga) se

descartaron para el uso en vehículos eléctricos a favor de las de níquel hidruro metálico [38].

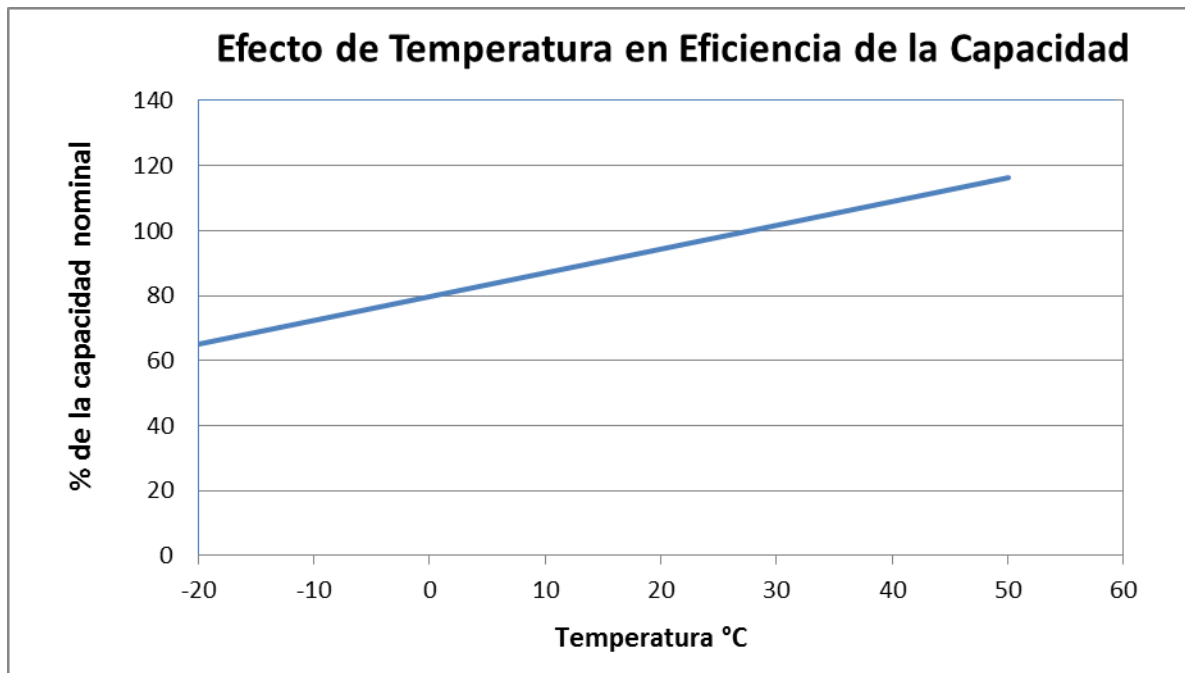
En las baterías de níquel hidruro metálico se sustituyó el cadmio, un elemento muy contaminante por una aleación metálica que formara hidruros. Sus componentes son un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de hidruro metálico. Estas baterías se han tomado como una solución transitoria para los vehículos eléctricos dada su baja autonomía [38].

En cuanto a las baterías de ión de litio son las más usadas en la electrónica portátil. Las estructuras más usadas son las cilíndricas y laminares, su ánodo suele ser de grafito y el cátodo de óxido de cobalto, aunque actualmente se están usando óxidos mixtos de cobalto, fosfato de litio y hierro u óxido de litio-manganeso. Estas baterías son más livianas, almacenan más carga y la retienen por más tiempo [38].

Cada una de las composiciones químicas de las baterías arriba mencionadas ofrecen características particulares. Las baterías Na- NiCl_2 y Ni-MH tienen un buen indicador de densidad de energía aunque algunas de las mismas tienen buen indicador de potencia; las baterías de Ni-MH y litio ofrecen la posibilidad de desarrollar alto suministro de energía y carga en tasa lenta (12 horas), rápida (4 a 8 horas) y super rápida (1 hora); pueden operar a temperaturas de 50 °C y llegar a tener una capacidad de recargas hasta 2000 ciclos sin deterioro de su capacidad de almacenamiento, además, no tienen componentes de plomo y cadmio por lo que son ambientalmente amigables.

Algunos de los problemas que presentan es su sensibilidad a las temperaturas extremas, su capacidad disminuye según las condiciones ambientales. Por otro lado la tecnología ión-litio implica riesgo de explosión debido a posibles cortocircuitos, por lo que los vehículos que las usan han de ampliar sus medidas de seguridad. Finalmente, esta tecnología presenta falencia en cuanto a la autonomía y la vida útil de las baterías.

Una de las falencias indicadas por los fabricantes obedece al factor de la temperatura. Las batería tipo plomo –ácido, usadas en el prototipo CE-1, están diseñadas para operar a 25 °C (Ver Figura 1). Ahora, “la capacidad en AH se incrementa al aumentar la temperatura por encima de 25 °C, esto no significa que a mayor temperatura obtengan mejores resultados, pues si bien aumenta en AH, la corrosión interna deteriora la batería, pues el proceso químico de óxido reducción se acelera agotando así el electrolito de la reacción. En la reacción se forma el sulfato de plomo que se adhiere a las placas positiva y negativa y el electrolito aumenta su viscosidad. Este tipo de degradación (No reversible) se produce independiente de la corriente que circule por la batería, debido a esto las baterías que se han sometido a periodos prolongados de almacenamiento a temperaturas superiores a 25 °C presentan un acortamiento de su vida útil”. [43]

Figura 1. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería

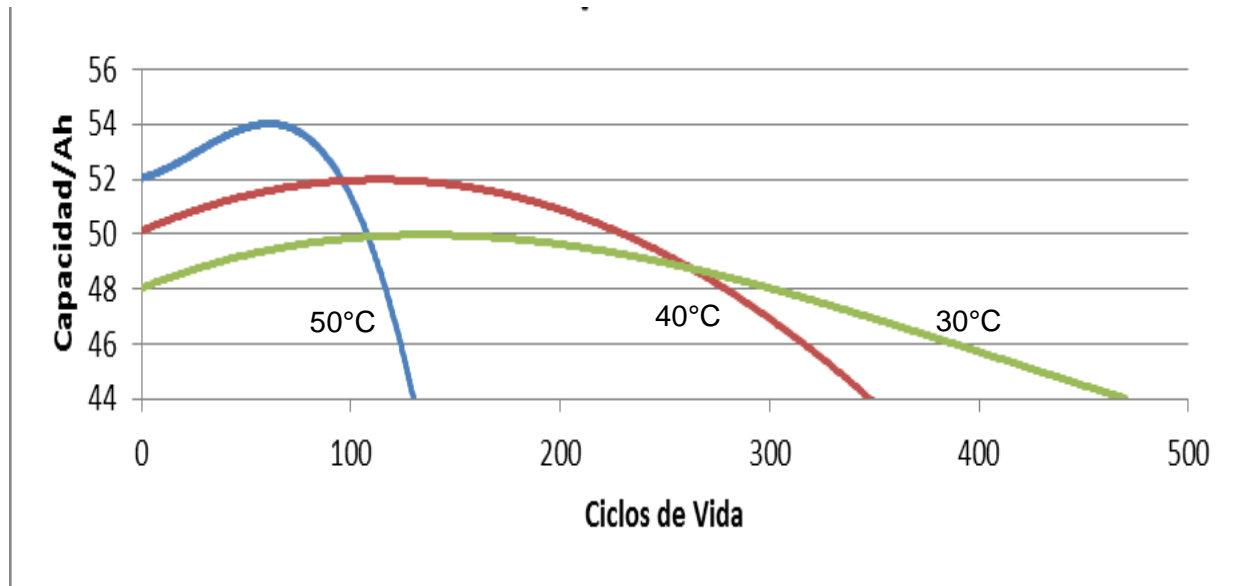
Fuente: ENERGEX. Energía confiable

Se debe tener en cuenta que la vida útil de la batería de plomo-ácido se ve afectada por el diseño, la elaboración y el entorno operativo. Como ya se mencionó, “una de las condiciones más perjudiciales para la vida de la batería es la alta temperatura ya que la velocidad de corrosión y solubilidad de los componentes metálicos crece al aumentar la temperatura”. [43]

Así mismo se debe tener en cuenta que el fabricante hace referencia a una temperatura ambiente ideal, no obstante, esa premisa no considera que la temperatura ambiente cambia a lo largo del día, de acuerdo con la altitud y latitudes de los diferentes lugares y varía a lo largo del año, por lo que no resulta práctico hablar de una temperatura ambiente ideal. Kejun Qian, et als. [44] presenta los resultados de eficacia de carga como función del número de ciclo de uso para tres diferentes temperaturas ambiente de las baterías, que se presentan en la Figura 2, allí muestra una disminución importante de vida útil en cuando la temperatura ambiente y un incremento en la capacidad efectiva de la batería (un paso de la temperatura ambiente de 40 a 50 grados implica un pequeño incremento de la capacidad de un 4% pero una caída abrupta en el ciclo 120, que implica el final de su vida útil , sería necesario hacer una análisis económico

de la operación del vehículo a diferentes temperaturas ambiente para encontrar la temperatura que lleve a resultados óptimos entre incremento de la capacidad y pérdida de vida útil.

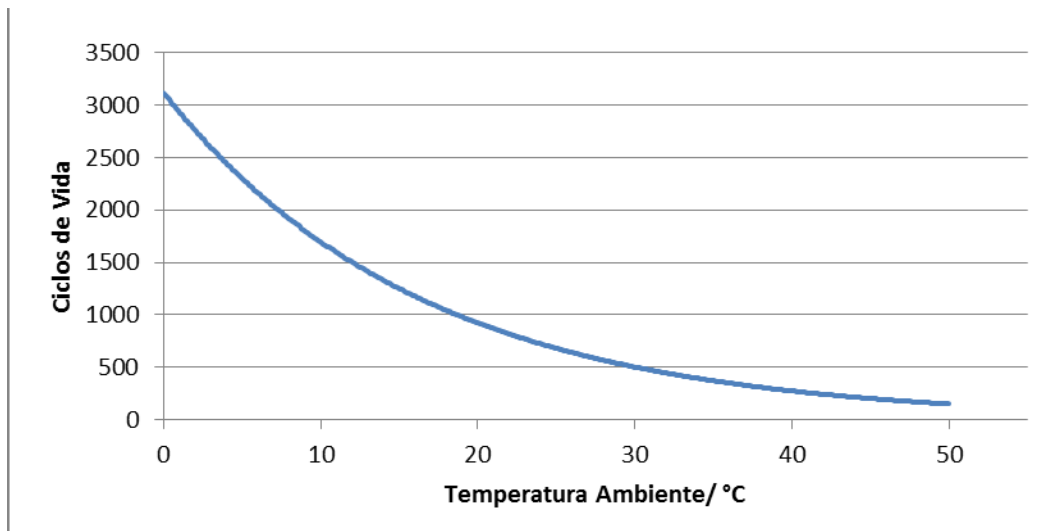
Figura 2. Ciclos de vida que dependen de la temperatura



Fuente: Temperature Effect on Electric Vehicle Battery Cycle Life in Vehicle to Grid Applications. [44]

En conclusión, se puede decir que (Ver Figura 2) a pesar de que las altas temperaturas pueden proporcionar un mayor rendimiento (mayor capacidad), la tasa de reacciones químicas no deseadas también aumenta. En consecuencia, hay una pérdida de vida de la batería. Por tanto, la correlación entre la temperatura ambiente y ciclo de vida de la batería de plomo-ácido se puede conseguir por ajuste de la curva como se muestra a continuación en la Figura 3. [44]

Al examinar la correlación entre la temperatura ambiente y los ciclos de vida útil de la batería de plomo-ácido usada en el vehículo GM EV-1 se observa un decremento de la vida útil con relación a la temperatura ambiente y el incremento en la capacidad de las baterías de plomo ácido ver Figuras (2 y 3)

Figura 3. Correlación Temperatura Ambiente - Ciclos de Vida de la Batería

Fuente: Temperature Effect on Electric Vehicle Battery Cycle Life in Vehicle to Grid Applications. [44]

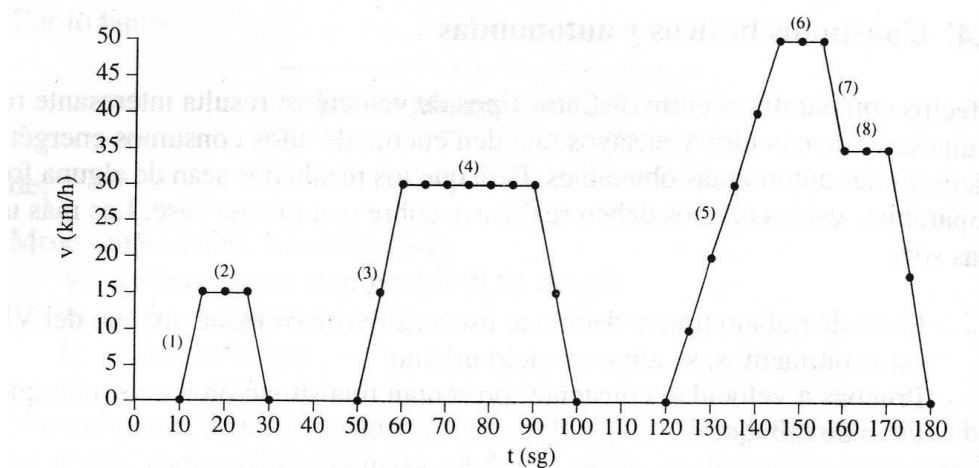
1.3 Normatividad

ECE-15 (Ciclo Urbano Europeo)

Esta norma proporciona una representación gráfica de las situaciones que se viven en el tráfico urbano típico con múltiples aceleraciones, desaceleraciones, paradas y arrancadas. [12, 2].

- Pasar de 0 a 15 km/h en 5 s (1)
- Mantener a 15 km/h durante 10 s (2)
- Pasar de 0 a 30 km/h en 10 s (3)
- Mantener a 30 km/h durante 30 s (4)
- Pasar de 0 a 50 km/h en 25 s (5)
- Mantener a 50 km/h durante 10 s (6)
- Pasar de 50 a 35 km/h en 5 s (7)
- Mantener a 35 km/h durante 10 s (8)

Gráfica 1. Ciclo urbano europeo tipo ECE-15



Fuente: López, Trinidad, Francisco [12]

IEEE 1188

Esta norma proporciona prácticas recomendadas para mantenimiento, prueba y reemplazo de baterías de plomo ácido sellado: inspecciones de voltaje en serie, voltaje de rizado, voltaje flotante, temperatura ambiente y de temperatura del terminal negativo, voltaje de carga, precauciones, conexión serie y paralelo, conexión de cables entre bornes. [13].

SAE J1634

Esta norma determina los procedimientos para realizar pruebas para el desempeño energético. De igual manera determina las condiciones del vehículo como kilometraje recorrido mínimo y máximo permitido, elementos normales (chasis, carrocería, espejos parachoques etc.) entre otras; condiciones de las baterías: verificación de carga, monitoreo térmico y tiempo de carga, carga

completa; condiciones ambientales: temperatura ambiente, temperatura de las baterías durante la recarga.

En el estándar se comenta acerca de la instrumentación de la prueba, y los registros que se deben tener en cuenta en el momento de la prueba. [14]

1.4 Marco teórico y conceptual

El origen del vehículo eléctrico se remonta a la primera mitad del siglo XIX. Si bien se trataba de prototipos que ahora difícilmente se podrían llamar vehículos, sí tenían esa intención. Es el caso del diseño del húngaro Ányos Jedlik.

En la década de 1830 el escocés Robert Anderson inventó el primer vehículo eléctrico; en 1835, Sibrandus Stratingh y Christopher Becker construyeron vehículos eléctricos a escala reducida en los Países Bajos. El 1867 Franz Kravogl presentó un ciclo de dos ruedas movido por motor eléctrico. Igualmente, en Estados Unidos creadores como Braker, Edison y Studebaker intentaban desarrollar modelos eléctricos con base en los avances que habían logrado los franceses Gastón Planté en 1865 y Camille Faure en 1881, en materia de baterías. [16].

A pesar de que este tipo de vehículo se proyectaba de manera eficiente, el mejoramiento del arranque eléctrico del Cadillac (1913) para el vehículo de combustión interna eliminó las desventajas de la tracción de combustión interna y evidenció las desventajas que hasta el momento tenía la tecnología del vehículo eléctrico tales como la confiabilidad del suministro eléctrico, la capacidad de almacenamiento de las baterías, además de la creciente euforia por los hallazgos de petróleo. Por esas razones la industria del vehículo eléctrico llegó a su fin en 1930 hasta que en la Segunda Guerra Mundial, dada la escasez de combustible se revitalizó el interés por esta tecnología. No obstante, al finalizar la guerra su volvió a abandonar cualquier proyecto al respecto. [16].

Ya en 1896 H.J. Dowsing y L Epstein patentaron su planteamiento acerca de la hibridación en paralelo. Por esta misma época Ferdinand Porsche diseñó un motor de gasolina que giraba a velocidad constante, alimentando un dínamo para cargar baterías eléctricas. El arranque del motor de gasolina se hacía a través del dínamo. Este es considerado el primer vehículo híbrido, tenía una autonomía de 64 k con solo baterías. No tenía conexión mecánica entre el motor térmico y las ruedas, por lo que no necesitaba transmisión o embrague. Este prototipo se lanzó

por primera vez en abril de 1890 en París como el Lohner Porsche y se fabricaron 300 unidades.

Para 1899 la empresa Compañía General Española de Coches Automóviles fabricaba vehículos que constaban de un carruaje biplaza, una camioneta, un camión y un bus eléctricos. El 1975 la legislación en California impuso el empleo de una sistema que redujera los gases de escape de los motores para hacerlos menos nocivos. Dieciocho años más tarde esta medida sería acogida en Europa. [17].

1.4.1 Tipos de vehículos híbridos

El vehículo híbrido es en esencia un vehículo eléctrico que incorpora un motor de combustión con el cual se recargan, en marcha las baterías a medida que la energía de estas se consume. Si bien su tracción es siempre eléctrica en algún momento el motor de combustión convencional provee al vehículo la potencia adicional necesaria para cubrir la demanda de velocidad o potencia, mientras que el sistema eléctrico opera en momentos de baja demanda. [18].

El vehículo eléctrico está compuesto fundamentalmente por un generador sincrónico de corriente alterna que produce la electricidad para cargar las baterías y funciona como motor de partida para el motor diesel; los inversores que tienen la función de convertir la corriente continua de la batería en corriente alterna para mover el motor eléctrico e invertir la corriente alterna del generador en corriente continua para cargar la batería. También se utiliza para variar la frecuencia de la corriente dependiendo de la revoluciones del motor eléctrico. El divisor de potencia en híbridos en paralelo permite dividir la potencia a partir de un engranaje que distribuye el giro del motor convencional entre la tracción y el generador; este elemento controla las revoluciones del generador y funciona a la vez como una transmisión continua.

Esta tecnología proporciona una mayor eficiencia energética en comparación con los vehículos convencionales ya que permite reducir el consumo de combustible fósil al tiempo que aumenta la participación de sistema eléctrico.

Existen varias marcas y modelos que han implementado esta tecnología, es el caso del Volvo ECC que en lugar de motor alternativo lleva una turbina de gas que permite bajos consumos y potencias elevadas. Dicha turbina mueve un generador que a su vez carga las baterías de las que toma su energía el motor eléctrico el cual finalmente mueve las ruedas. Cuando es necesario, la turbina

auxilia al motor eléctrico con lo que la autonomía de 56 km pasa a 146 km y logra pasar de 0 a 100 km/h en 13 segundos en lugar de los 23 que requiere con solo las baterías. [18].

Así mismo, Volkswagen condicionó un motor eléctrico a continuación de su motor, en el lugar del embrague y antes de la caja de cambios. Los Golf electrohíbrido y el Concep 1 incorporan un embrague al lado del grupo eléctrico de manera que se puede funcionar como eléctrico, como Diesel e incluso por inercia. El Mitsubishi ESR alcanza 160 km por su motor eléctrico y sus cuatro cilindros de gasolina. [18].

Existen diferentes tipos de híbridos como los que emplean condensadores de alta capacidad para almacenar energía eléctrica, los que acumulan presión hidráulica o neumática para ir liberándola gradualmente o los que almacenan energía cinética. Se clasifican de acuerdo con la configuración del sistema de transmisión de energía al motor o generador en sistema en serie o en paralelo.

Los primeros utilizan un motor convencional acoplado a un generador que produce energía para el motor eléctrico que acciona el giro de la ruedas, o sea, tiene una sola entrada de energía al motor. El sistema en paralelo tiene dos entradas de energía al motor provenientes del sistema eléctrico y del sistema convencional. [18].

1.4.2 El vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico es un vehículo que utiliza corriente eléctrica para obtener la tracción del motor. Dentro de las ventajas que presenta este tipo de vehículos está la posibilidad de incorporar diferentes tipos de fuentes de energía renovables y su operación es silenciosa y sin emisiones contaminantes.

Los vehículos eléctricos suelen clasificarse de acuerdo con la fuente de energía usada para generar la tracción, así hay vehículo de baterías, vehículo eléctrico con alimentación directa (catenarias) y VE por aire comprimido. El primero suele ser cargado a través de una red eléctrica doméstica u otro sistema de alimentación. Este tipo de vehículos presenta la desventaja de su poca autonomía ya que todos sus sistemas dependen del almacenamiento que logre la batería el cual por lo general oscila entre 30 y 60 millas. [18].

El VE es, en el corto plazo, una buena alternativa de transporte para las grandes ciudades altamente congestionadas, con restricciones de movilidad, zonas históricas o con restricciones de velocidad. Así mismo, esta tecnología se proyecta a convertirse en una de las alternativas de punta para el transporte masivo de pasajeros, es el caso de la ciudad de Bogotá que tiene proyectado

implementar nuevamente la modalidad de Trolebús y donde ya se encuentran en funcionamiento una flota de taxis eléctricos. [19].

Otro de los usos que se han implementado para la tracción eléctrica es el transporte de carga. El diseño de estos vehículos permite un desplazamiento fundamentalmente horizontal, vertical o combinado que depende del peso que lleve, el grado de pendiente y el nivel de carga en el que se encuentren las baterías y en recorridos relativamente cortos. [19].

1.4.3 Proceso de recarga

Dentro de los procesos de recarga se pueden mencionar dos tipos, el proceso de recarga con intensidad decreciente y el de recarga en dos escalones o escalonada. En el primero la intensidad disminuye a partir del valor inicial y en el medida en que la recarga prosigue la tensión de la batería va aumentando, aquí el proceso de recarga dura aproximadamente 10 horas dependiendo del estado de carga inicial; en el segundo tipo es más rápido (8 horas en promedio) y consiste en aplicar una intensidad constante escalonada. En el caso del presente estudio el cargador hace el proceso de recarga donde el voltaje se comporta de manera ascendente y la corriente de manera decreciente hasta llegar a cero. Cuando la corriente se hace cero el cargador del vehículo indica que está completamente cargado [6].

Según el fabricante de las baterías optima indica que se pueden realizar recargas lentas y rápidas siempre y cuando la temperatura este por debajo de 50°C (Ver anexo18).

2.Adecuación, descripción e instrumentación del Prototipo CE-1

2.1 Adecuación del Vehículo

El vehículo escogido para realizar la adaptación contaba con motor de dos tiempos, de combustión interna a gasolina con carburador, construido en principio para ser utilizado en una finca con carreteras privadas (Ver Fotografía 1). Tenía un sistema de transmisión de cadena y refrigeración por radiador.

Cabe mencionar que el vehículo se adquirió en estado total de abandono y en un gran porcentaje desvalijado, el motor había sido retirado del carro junto con otras piezas.

Fotografía 1. Vehículo de combustión interna como se adquirió



2.1.1 Desensamblable

El primer procedimiento que se efectuó fue desensamblar todas las piezas removibles de la carrocería al igual que el sistema de frenos, de dirección, transmisión, sistema eléctrico, y motor. Este proceso permitió realizar una primera inspección a la parte rígida de la carrocería y del chasis para determinar cualquier anomalía o defecto por deterioro o choques en las estructuras, pues el chasis principalmente está compuesto por elementos ensamblados por medio de soldadura la cual es importante que se encuentre en condiciones óptimas y no presente ningún tipo de fractura o debilitamiento a causa de oxido torceduras, o impactos. Es de anotar que este desensamble facilitó no solo la inspección del estado del chasis y de la carrocería sino que también facilitó la inspección de la alineación general del chasis y su respectiva adecuación. (Ver Fotografía 2).

Durante la observación, después del desensamble permitió visualizar mejor las futuras adaptaciones que se requerían para la conversión del vehículo de combustión interna a eléctrico.

Fotografía 2. Chasis para inspección



La inspección física del vehículo permitió verificar las verdaderas magnitudes del mismo con el fin de generar los planos y los cambios necesarios en el proceso de adecuación.

2.1.2 Adaptación

La primera adecuación que se realizó es la adaptación del motor eléctrico al chasis ya que su forma y dimensiones eran diferentes a las del motor de combustión interna anterior. Por ello se elaboró una adaptación especial en forma de disco hecha en un torno con las especificaciones necesarias para que el motor encajara en el espacio adecuado y en consecuencia se generará un ajuste y ensamble perfecto directamente con la transmisión. Al mismo tiempo se elaboró un soporte de ayuda para que la transmisión quedara en la posición adecuada con el motor. (Ver Fotografías 3, 4 y 5).

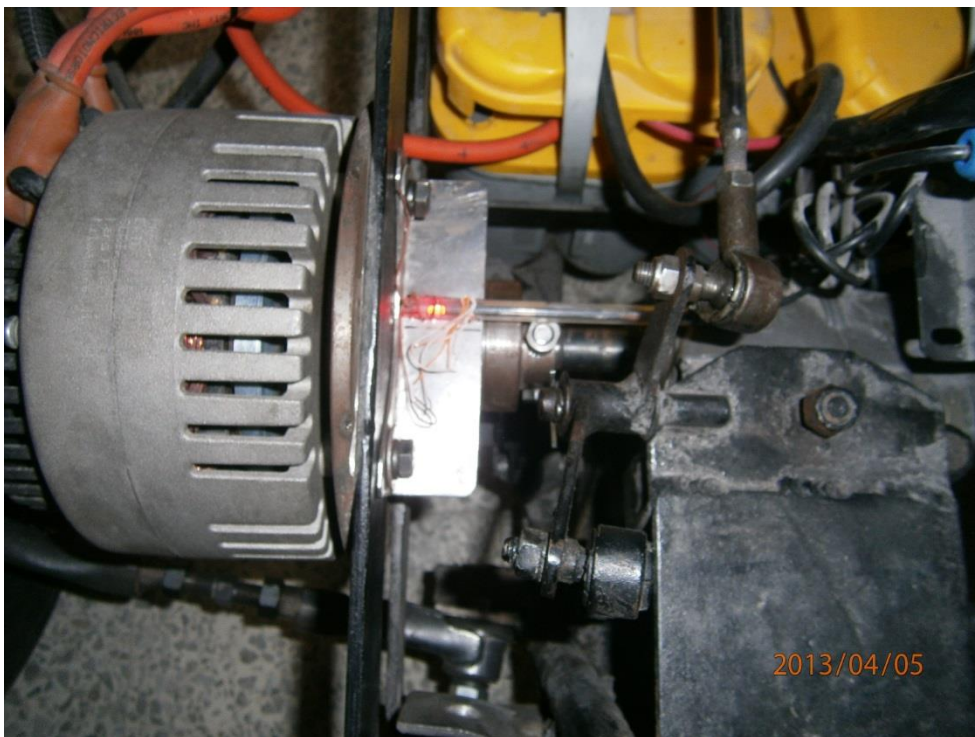
Fotografía 3. Construcción del soporte de motor



Fotografía 4. Disco de Acople motor-chasis



Fotografía 5. Motor adaptado (chasis) transmisión



Para adecuar el banco de las baterías fue necesario hacer una modificación al chasis en la parte delantera del motor y para ello se procedió a ensamblar un soporte en hierro soldado al chasis, el cual sirvió para contener y ajustar las baterías de forma que no quedaran sueltas y no generaran una interrupción de corriente o cualquier tipo de accidente. Este soporte quedó instalado en la parte inferior trasera del vehículo con el fin de mejorar su centro de masa y además para que pudiera ser cubierto posteriormente por elementos de carrocería y tapicería. (Ver Fotografías 6 y 7).

Fotografía 6. Soporte para las baterías-parte inferior del chasis



Fotografía 7. Soporte de las baterías. Vista superior



El chasis puede definirse como la estructura rígida en hierro que une todos los elementos del vehículo. Tiene entre otras funciones soportar las fuerzas estáticas y dinámicas que este produce, de igual manera, mantiene estable los componentes que lo conforman. Es de destacar que además brinda seguridad al pasajero puesto que ayuda proteger su integridad física en caso de una colisión. (Ver Figura 4) [29].

Figura 4 - Chasis. Prototipo CE-1

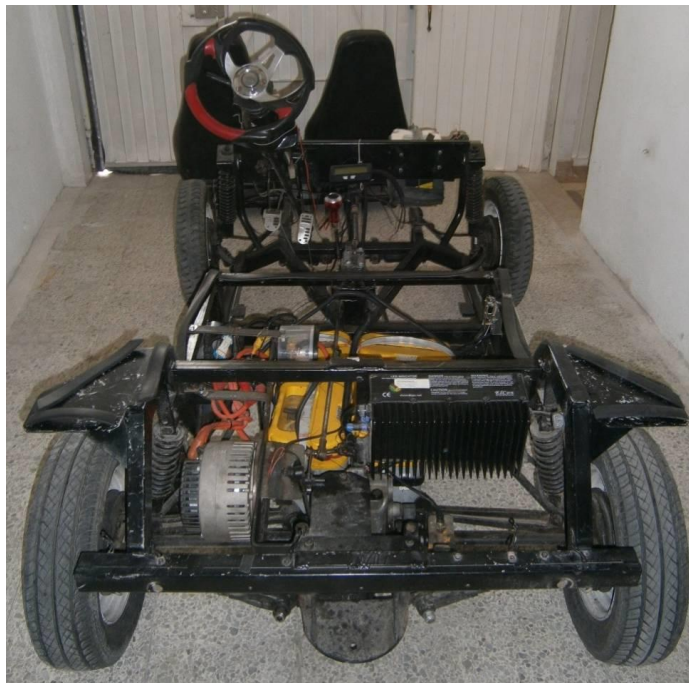


Posteriormente, se procedió a instalar el control de velocidad, el acelerador y a reinstalar y revisar el sistema de frenos, para lo cual se realizaron varias pruebas las cuales indicaron que el Prototipo tenía los ajustes técnicos necesarios. (Ver Fotografías 8 y 9).

Fotografía 8. Instalación de control de velocidad



Fotografía 9. Chasis terminado



El siguiente paso fue ensamblar la carrocería no sin antes haber realizado el mantenimiento necesario, pues aunque en el prototipo el deterioro de la carrocería puede no generar cambios significativos en el desempeño del motor sí puede desencadenar algún desajuste especialmente en los elementos auxiliares que se instalaran posteriormente, por lo tanto se realizó un proceso de restauración que consistió en verificar todas las fisuras de la carrocería para su consiguiente reparación en fibra de vidrio. Posteriormente se efectuó un proceso de pintura para así dar un acabado y una mejor apariencia estética. (Ver Fotografía 10 y 11).

La carrocería es el elemento que separa la intemperie del interior del vehículo. Según su diseño puede prestar servicios estructurales, de comodidad, rendimiento y seguridad. Para el caso del vehículo eléctrico la carrocería soporta elementos eléctricos y electrónicos, tiene entre otras funciones servir como habitáculo para el conductor, al tiempo que protege diferentes componentes. Está elaborada en fibra de vidrio, material que consta de numerosas fibras de vidrio extremadamente finas y elementos poliméricos. Dicho material también se usa como agente de refuerzo en diferentes productos como recubrimientos, aislamientos térmicos, eléctricos, y acústicos, carrocerías de automóviles, etc. [30].

Fotografía 10. Restauración de fisuras



Fotografía 11. Carrocería para instalar en el chasis

Sistema auxiliar: Finalmente se instaló el sistema auxiliar eléctrico compuesto por los elementos de alumbrado como luces frontales, luces traseras, direccionales, luces de parqueo, pito, mandos, testigos, etc. (Ver Fotografía 12 e Ilustración 1).

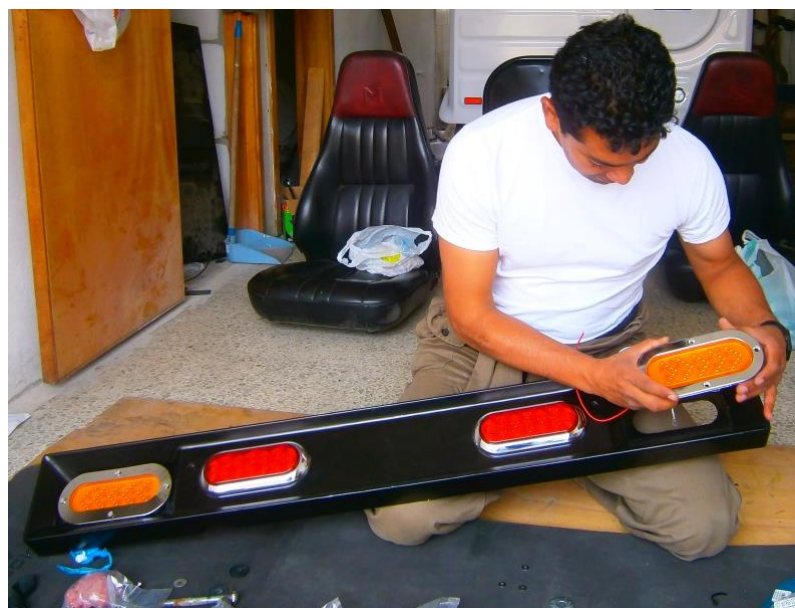
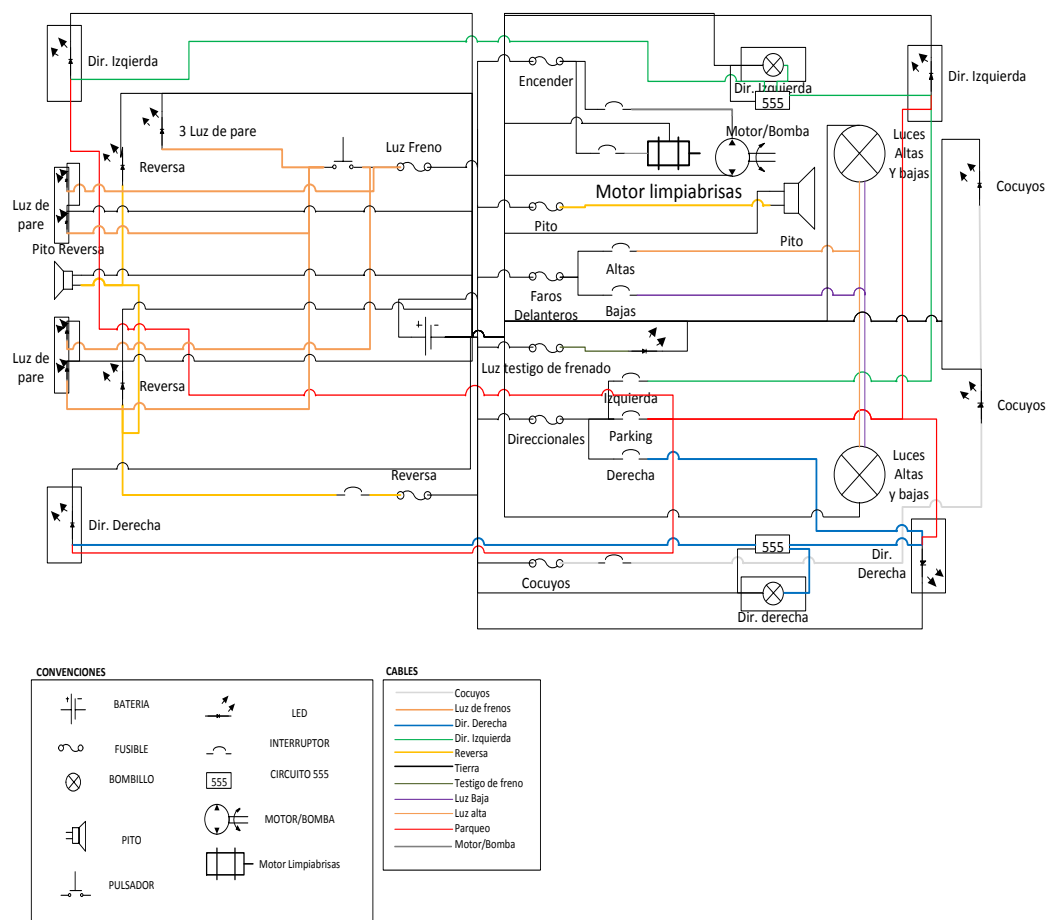
Fotografía 12. Instalación de luces traseras y direccionales

Ilustración 1. Plano del funcionamiento del sistema auxiliar eléctrico



Se realizó el peso del vehículo en varios momentos, un primer momento fue cuando vehículo no tenía la carrocería, se pesó en la Universidad Nacional ver (Fotografía 13), donde el peso fue de 341 kg de solo el chasis; la carga útil de vehículo en ese momento fue 180 kg si se suma el peso del chasis más el peso de la carga útil será de 521 kg. Cabe aclarar que el chasis está compuesto por estructura en hierro, motor, transmisión, batería auxiliar, llantas, sistema de frenos, sistema de dirección. Con este peso el vehículo tendría una autonomía de 34 km.

Fotografía 13. Prototipo CE-1 en la grúa para peso

El segundo momento del peso fue cuando se instaló la carrocería compuesta de: estructura en fibra de vidrio, soporte y vidrio panorámico, llanta de repuesto, barra antivuelco. Con un peso de 119 kg, en ese orden de ideas el peso total del vehículo es la suma del chasis más la carrocería será de 460 kg, (Ver fotografía 14 manteniendo una carga útil de 180 kg su peso será de 640 kg la nueva autonomía de vehículo fue de 23 km, teniendo una reducción de 11 km de autonomía.

Esos resultados dan una prueba real del funcionamiento del vehículo eléctrico, su consumo de energía, y su tiempo de descarga, también se puede hallar la capacidad necesaria de la batería según Larrodé [6] dividiendo la energía total entre el voltaje de funcionamiento del motor, para nuestro caso es de 48v. (Ver Ecuación 3).

Fotografía 14. Prototipo CE-1 en la báscula para peso



2.1.3 Descripción estructural del Prototipo CE-1

A continuación se presentan las figuras 5 a 9 que ubican las diferentes partes que componen al Prototipo CE-1 para mayor detalle ver (Anexos 1 y 2).

Figura 5. Componentes principales del Prototipo CE-1

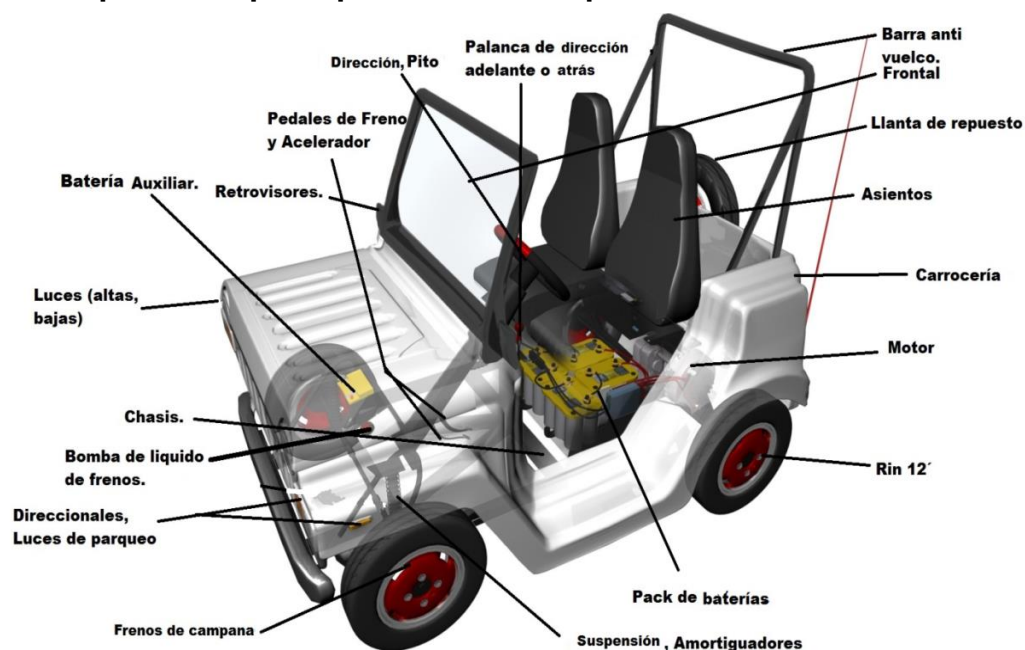
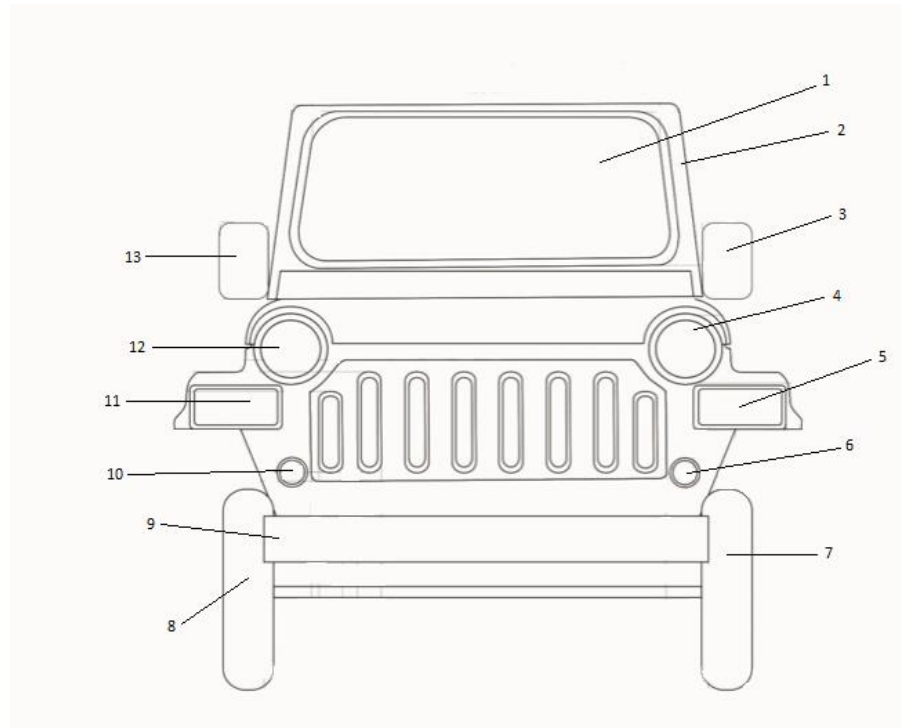
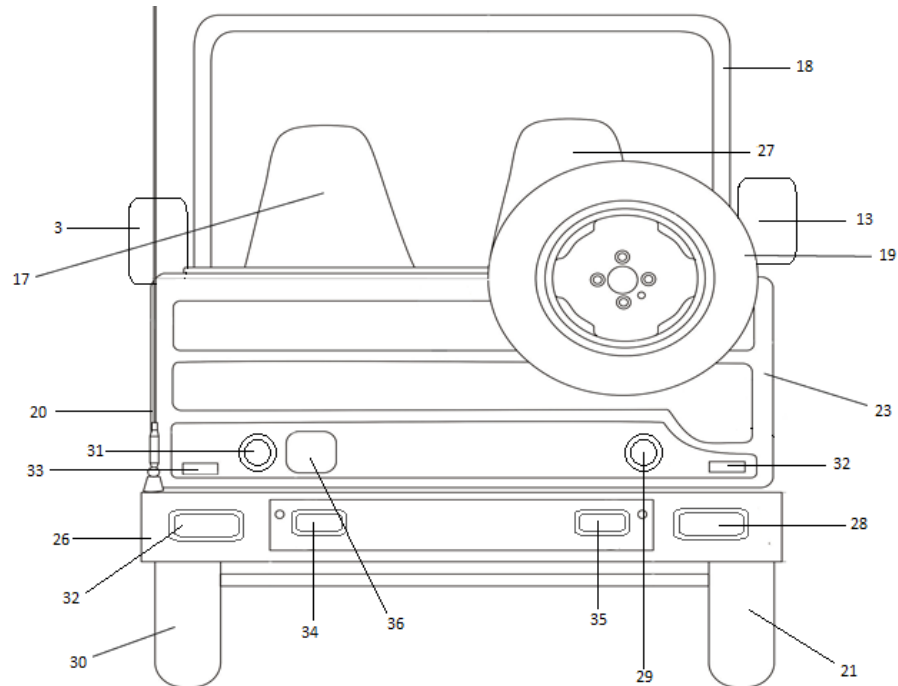


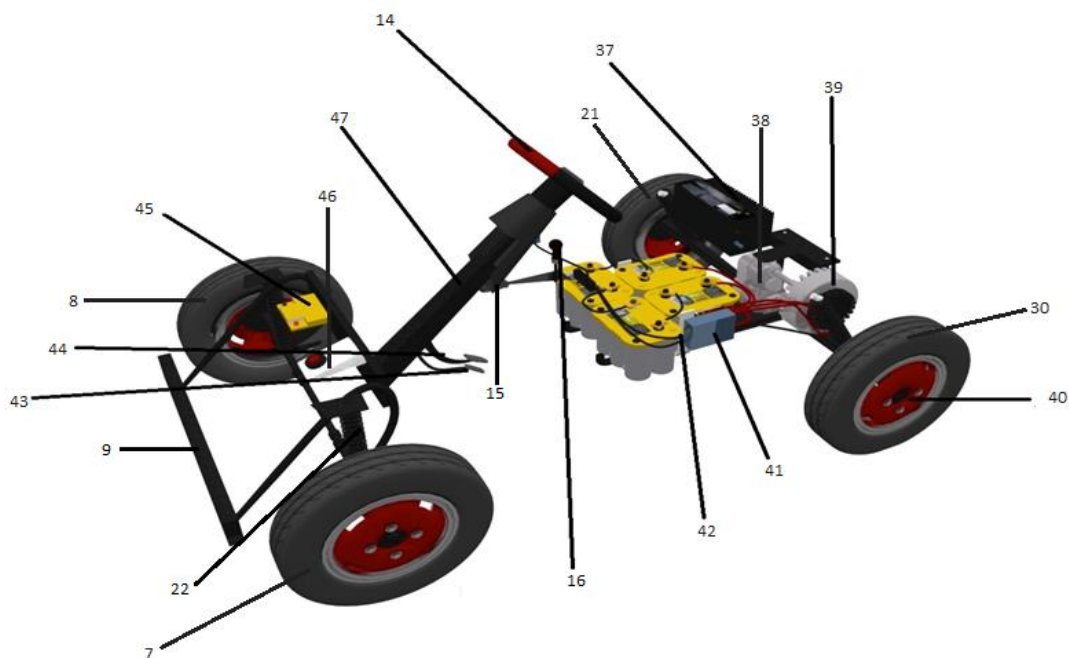
Figura 6. Vista frontal Prototipo CE-1

- 1 Panorámico.
- 2 Soporte para el panorámico.
- 3 Espejo retrovisor izquierdo.
- 4 Luces izquierdas, altas y bajas.
- 5 Direccional izquierda.
- 6 Luces diurnas izquierdas.
- 7 Llanta delantera izquierda.
- 8 Llanta delantera derecha.
- 9 Parachoques.
- 10 Luces diurnas derechas.
- 11 Direccional derecha.
- 12 Luces derechas, altas y bajas.
- 13. Espejo retrovisor derecho.

Figura 8. Vista posterior del Prototipo CE-1

- 27. Espaldar asiento del copiloto.
- 28. Direccional trasera derecha.
- 29. Luz de reversa derecha.
- 30. Llanta trasera izquierda.
- 31. Luz de reversa izquierda.
- 32. Reflector rojo derecho.
- 33. Reflector rojo izquierdo.
- 34. Stop (luz de pare) izquierdo.
- 35. Stop (luz de pare) derecho.
- 36. Tercer stop.

Figura 9. Vista interna de los elementos más relevantes del chasis



37. Cargador de baterías marca ELCON PFC-1500 BATTERY CHARGER.
38. Transmisión.
39. Motor.
40. Frenos de campana.
41. Control de velocidad marca CONTROLADOR G4827.
42. Pack de baterías recargables.
43. Pedal de freno.
44. Pedal de acelerador.
45. Batería auxiliar para sistema de luces.
46. Tanque de líquido de frenos.

Para ver más detalles del vehículo adecuado terminado ver Anexo 19.

2.1.4 Instrumentación

A continuación se describen los instrumentos (computador personal, tarjeta de adquisición de datos, sensores, etc.) utilizados en la adquisición de los datos para evaluar el comportamiento del vehículo mientras está en funcionamiento y en estado de carga:

El computador funciona con un sistema operativo Windows 8 y se utiliza el software de Lab View 2012 Student Edition. La tarjeta de adquisición de datos es una tarjeta de la National Instruments 6210 la cual está compuesta por 16 entradas analógicas a una velocidad de muestreo de 250 kS/s y 4 entradas digitales diseñadas especialmente para aplicaciones móviles.

El tipo de sensores utilizados fueron sensores de temperatura encargados de censar mientras las baterías están en funcionamiento y en estado de recarga. (Sensores Termopar tipo J).

Se instalaron dos resistencias Shunt, encargadas de reducir el voltaje para luego ser medido y calcular la corriente que circula a través de ellas.

Se instaló una resistencia shunt, entre la terminal negativa de la batería y el control, con el fin de poder calcular la corriente que circula. La resistencia shunt tiene un valor de 166 microhmios. Mide el voltaje que circula por ésta y se aplica la ley de ohm para hallar la corriente cuando el Prototipo CE-1 está en funcionamiento. (Ver Fotografía 15).

Fotografía 15. Resistencia Shunt para estado dinámico



La otra resistencia shunt se instaló entre la salida del cargador y la terminal negativa de la batería, con el fin de poder calcular la corriente que circula. La resistencia shunt tiene un valor de 492 microhmios. Mide el voltaje que circula por ésta, y se aplica la ley de ohm para hallar la corriente cuando el Prototipo CE-1 está en estado en estado estático. (Ver Fotografía 16).

Fotografía 16. Resistencia Shunt para estado estático



Sensor tipo inductivo en la llanta

Se instaló un sensor inductivo en la llanta derecha delantera para determinar el número de vueltas que daba en un determinado tiempo, como se puede observar en la Fotografía 17. El diámetro de la llanta es de 50,9 cm por $3,1416 (\pi)$ da como resultado la circunferencia que es 160 cm.

Fotografía 17. Sensor inductivo en la llanta**Sensor termopar**

Este sensor se utiliza para medir la temperatura en las baterías (se coloca sobre cada una de ellas) del vehículo eléctrico cuando está en funcionamiento y cuando está en estado de recarga teniendo en cuenta la norma IEEE 1188 que sugiere que el termopar sea instalado cerca al terminal negativo de la batería. (Ver Fotografía 18).

Fotografía 18. Sensores termopares



Contadores

Los primeros ejercicios de recarga y sus respectivas mediciones se realizaron en una bodega con un contador independiente (Ver Fotografía 19). No obstante, dada la imposibilidad de transportar dicho contador, para lograr mayor autonomía en las mediciones se decidió utilizar otro con el fin de poder realizar mediciones en diferentes lugares. (Ver Fotografía 20).

Fotografía 19. Contador independiente de la bodega**Fotografía 20. Contador transportado para mediciones**

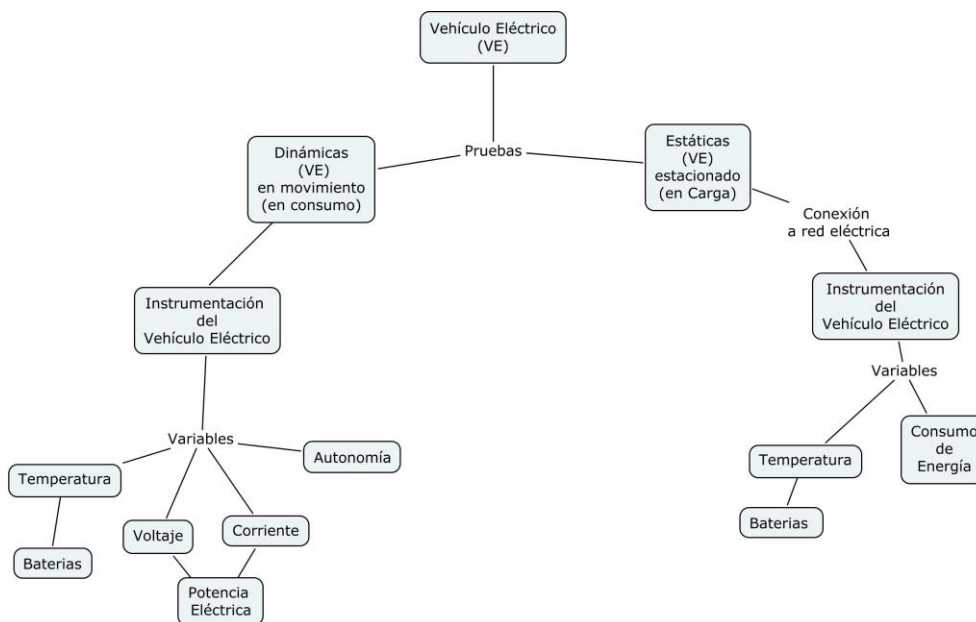
3. Metodología. Pruebas y análisis de resultados

3.1 Metodología para las pruebas estáticas

Las pruebas pretenden evaluar el comportamiento de algunas variables que afectan el funcionamiento correcto del vehículo eléctrico en dos momentos, en estado de carga, Pruebas Estáticas (vehículo en estado de recarga, conectado a la red eléctrica doméstica), y en movimiento, Pruebas Dinámicas (vehículo en desplazamiento en vía) (Ver Ilustración 2) las pruebas se realizaron de forma independiente.

En el presente capítulo se presenta el proceso metodológico que se eligió para la realización de las pruebas. Igualmente, se van presentando los resultados que se obtuvieron en cada una de la pruebas, las cuales son analizados simultáneamente.

Ilustración 2. Mapa de pruebas



El proceso metodológico que se presenta a continuación se diseñó con base en el procedimiento propuesto por Gutiérrez & De la Vara [39]. Así se realizó el experimento para pruebas estáticas que consistió en realizar 3 recargas de diferentes valores de voltaje (100v, 110v, 120v) con el fin de evaluar el comportamiento de la temperatura de las baterías. (Ver Ilustración 3).

1. Definir el momento de recarga

Planeación de la ubicación de hora y lugar donde se conectara el (VE) a la red eléctrica doméstica teniendo en cuenta las normas de seguridad eléctrica y el valor de la recarga a realizar.

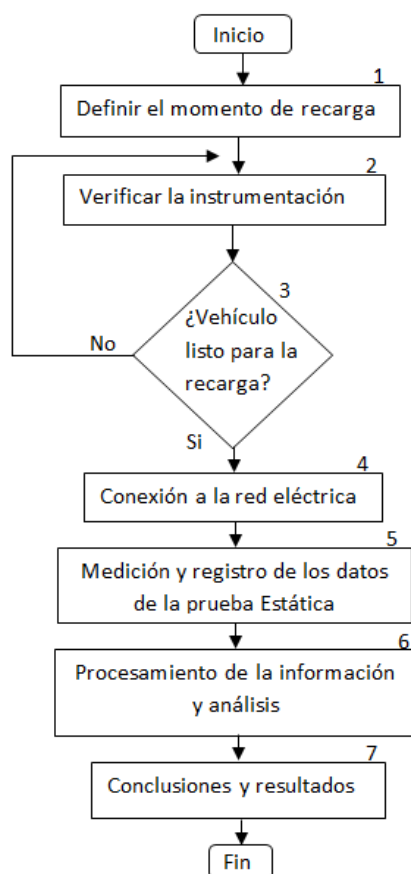
2. Verificar la instrumentación

Consiste en observar los instrumentos de medición instalados para la prueba estática: contador eléctrico, tarjeta de adquisición de datos, computador, entradas análogas.

3. Pregunta ¿Vehículo listo para prueba Estática?

Si la respuesta es sí, se continúa con la prueba, si la respuesta es No, se debe ir al numeral 2.

Ilustración 3. Diagrama de flujo Pruebas Estáticas (Vehículo en estado de recarga, conectado a la red eléctrica doméstica)



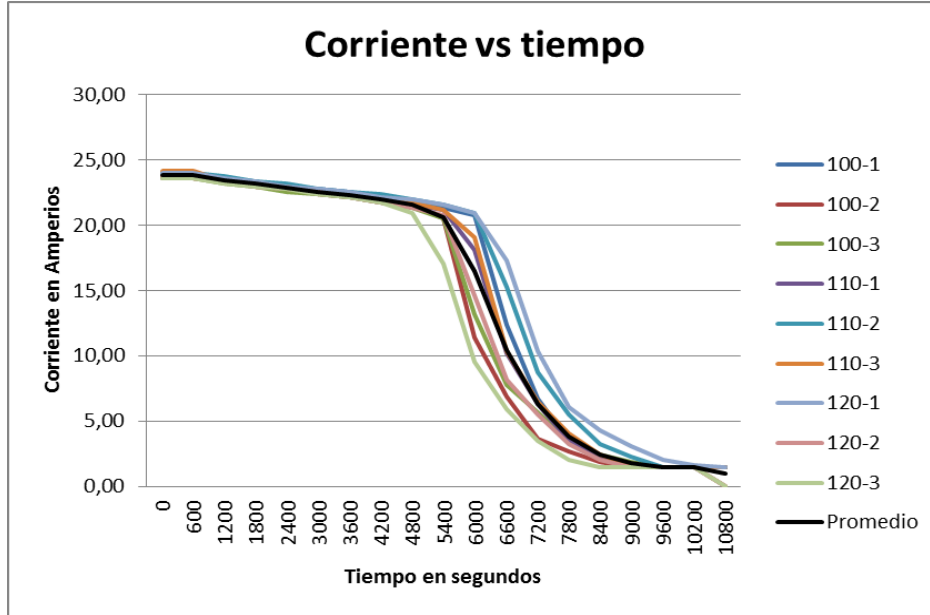
4. Conexión a la red eléctrica

Esta consiste en conectar el cable del cargador de las baterías a la toma del contador eléctrico y este a su vez se conectara a una toma corriente definida en el numeral 1.

5. Medición y registro de datos de la prueba estática

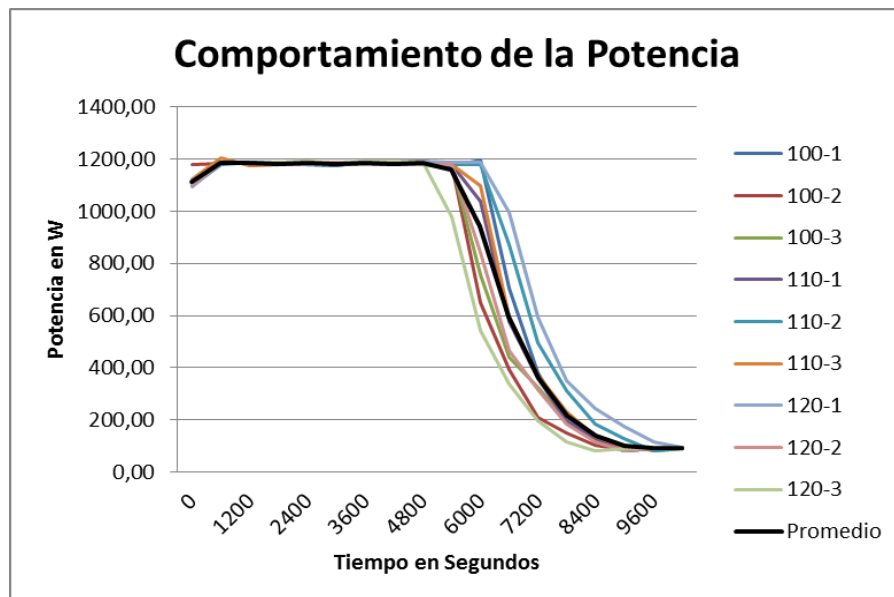
Se inicia el proceso de recarga (VE), también comienza la medición y registro de los datos en el PC con el software de Lab VIEW.

Figura 11. Comportamiento de la Corriente durante la recarga



En la Figura 11 se puede observar una muestra de los datos donde se indica sobre el comportamiento de la corriente durante todas las pruebas con un valor promedio inicial de 23,85 A, que va disminuyendo hasta llegar a cero, durante un tiempo de 10800 s. (Ver Anexo13).

Figura 12. Comportamiento de la Potencia



En la Figura 12 se puede observar una muestra de datos utilizados, donde se puede ver el comportamiento de la potencia durante las pruebas realizadas, en un promedio inicial de 1114,13 w manteniéndose hasta unos 6000 segundos para luego empezar a descender. (Ver Anexo14).

Al comparar las tensiones de recarga con el tiempo y el consumo se obtiene que en promedio el tiempo utilizado para las recargas fue de 12.933 segundos que equivalen a 3,59 horas y el promedio de energía consumida fue de 2,69 kWh con una diferencia de 0,31 kWh con el consumo más alto (Ver Tabla 1). Los resultados que se observan indican que la tensión de recarga no es importante para las baterías, esto indica que el cargador regula la corriente que pasa de la red eléctrica residencial al pack de baterías a través del cargador. Cabe mencionar que se pudo establecer que el cargador muestra una eficiencia del 83 % aproximadamente. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Eficiencia del cargador en cada una de las recargas

Eficiencia del cargador en cada una de las recargas				
Tensión de Recarga	Energía de entrada a las Baterías	Energía entrada al Cargador	Eficiencia del Cargador en %	Tiempo de recarga
100-1	2,29	2,8	82%	12600
100-2	2,07	2,5	82%	10800
100-2	2,24	2,7	82%	15000
110-1	2,23	2,7	83%	12000
110-2	2,41	2,8	86%	13800
110-3	2,29	2,7	84%	13200
120-1	2,57	3	85%	17400
120-2	2,14	2,6	82%	10800
120-3	2	2,4	83%	10800
Promedio	2,25	2,68	0,83	12933
DES-EST	0,17	0,18	0,01	2227
DES relativa	7,7%	6,6%	1,8%	17,2%

Teniendo en cuenta las Figuras 21 d), 22 d), 23 d), 24 d), 25 d), 26 d), 27 d) 28 d) y 29 d) (Ver Anexos 3 a 11) de las prueba estáticas se pudo observar que el comportamiento de la temperatura ambiente siempre estuvo por debajo de la temperatura de las baterías y del pack, con un valor mínimo de 14,7 °C y un valor

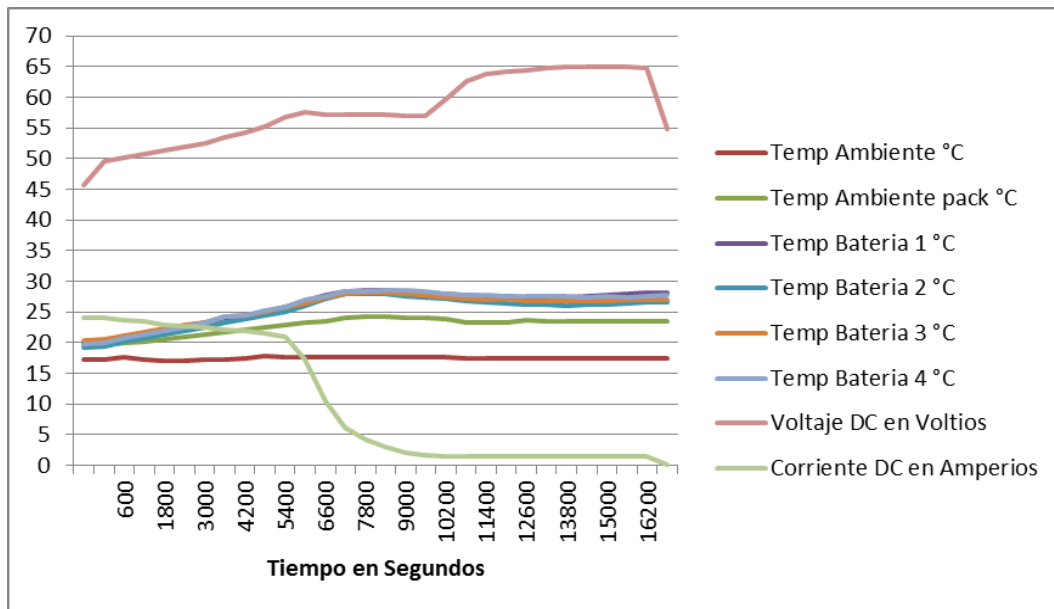
máximo 19,8 °C, esto debido que la mayoría de las pruebas de recarga se realizaron entre las 4:15 pm y las 11:05 pm. (Ver Tabla 2).

Por otro lado se puede observar que la temperatura de las baterías va aumentando en la medida que aumenta la tensión de recarga en el tiempo con un valor promedio de la temperatura 28,7 °C y un valor en promedio en tensión de 56,8 V hasta 64,8 V con un rango del tiempo entre 5822 y 10666,6 segundos.

Tabla 2. Control de tiempo de recargas

Fecha de la Prueba	Hora inicio	Hora final	Tiempo	Tensión de Recarga	Repetición
23 de Nov 13	10am	1:40pm	3 horas 40 min	100V	1
23 de Nov 13	7:45pm	11:05pm	3horas 20min	110 V	1
27 de Nov 13	6:30pm	11:20pm	4horas 50min	120 V	1
30 de Nov 13	9:35am	12:35m	3 horas	120 V	2
30 de Nov 13	4:15pm	7:15pm	3 horas	120 V	3
1 de Dic 13	2 pm	5:50 pm	3 horas 50 min	110 V	2
2 de Dic 13	5:30 pm	9:10 pm	3 horas 40 min	110 V	3
3 de Dic 13	6:20 pm	9:20 pm	3 horas	100 V	2
5 de Dic 13	6:10 pm	10:20pm	4 horas 20 min	100 V	3

Figura 13. Comportamiento de la variables en estado de recarga



En la Figura 13 se puede observar el comportamiento de 8 variables de una de las pruebas que se tuvieron en cuenta, de arriba hacia abajo está el voltaje DC que inicia en 45,6 voltios y va ascendiendo hasta valor máximo de 65 voltios para luego descender a un valor de 54 voltios, la corriente inicia en un valor de 23.98 Amperios, decreciendo hasta llegar a cero, luego se aprecia el comportamiento

de la temperatura de las baterías que inicia en 19 °C hasta 28 °C, por último la temperatura ambiente por debajo de todas las otras temperaturas, todas las variables en función del tiempo. Para más detalle de las pruebas ver desde el Anexo 3 hasta el Anexo 11.

3.2 Metodología para las pruebas dinámicas

El procedimiento para las pruebas dinámicas se definió a partir del ciclo de ruta urbano de la Norma Europea ECE-15 con adaptaciones ver (Anexo15) y una ruta de Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá hasta Carrera 97b # 153-70, barrio Suba Tuna Baja.

Este tiene el fin de evaluar el comportamiento el voltaje, la corriente, la temperatura en las baterías, (Ver Ilustración 4) diagrama de flujo para pruebas dinámicas. (Vehículo en funcionamiento).

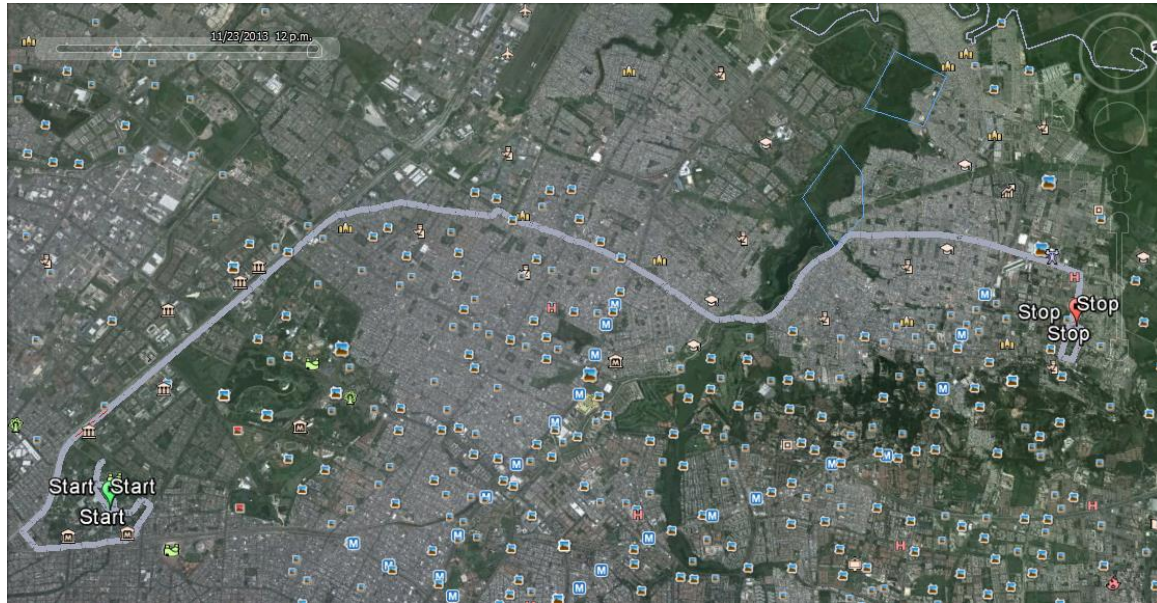
1. Estado del vehículo prueba 360°

Esta consiste en verificar las condiciones óptimas para la movilidad del vehículo. (llantas, sistema auxiliar, carga de energía).

2. Definir la ruta de prueba

Planeación de ruta a tomar para evaluar comportamiento de Prototipo CE1 teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas, la distancia máxima por recorrer. La ruta planeada se ubicó desde el punto A (Start) hasta un punto B, (Stop) donde el punto A corresponde a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá y el punto B está ubicado en carrera 97b # 153-70, barrio Suba Tuna Baja. (Ver Fotografía 21).

Fotografía 21 - Recorrido prueba dinámica

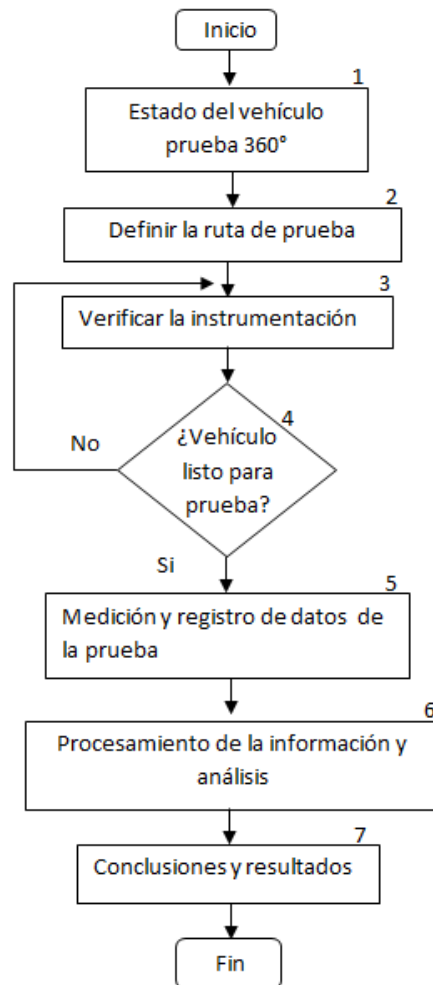


Fuente: Google Earth

3. Verificar la instrumentación

Consistió en verificar los instrumentos de medición instalados para la prueba, tarjeta de adquisición de datos, computador, entradas análogas, entradas digitales y GPS.

Ilustración 4. Diagrama de flujo Pruebas Dinámicas (Vehículo en funcionamiento).



4. Pregunta ¿Vehículo listo para prueba?

Si la respuesta es Sí, se continua con la prueba, si la respuesta es No, se debe ir al numeral 3.

5. Medición y registro de datos de la prueba

Se inicia el movimiento del (VE) y también comienza la medición y registro de los datos en el PC con el software de LabView.

6. Procesamiento y análisis de la Información

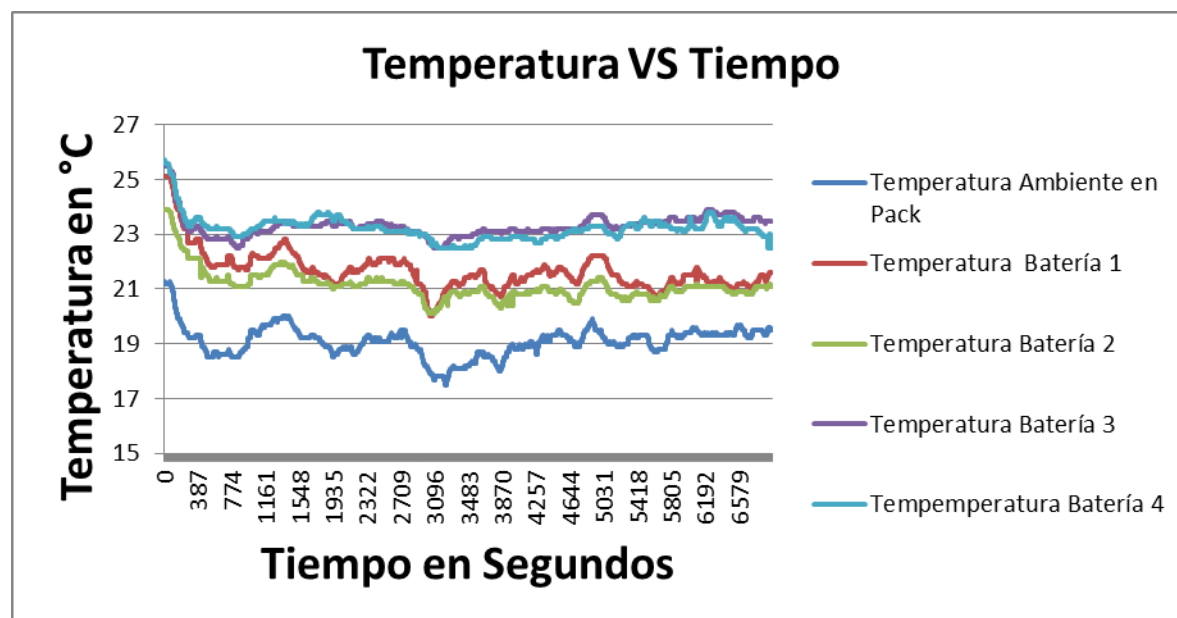
De acuerdo con la medición realizada en el numeral 5 del Diagrama de flujo Pruebas Dinámicas (Ver Ilustración 4) se realizaron los cálculos de consumo de energía y las gráficas del comportamiento de voltaje, corriente, potencia y comportamiento de la temperatura de las baterías durante la prueba.

7. Conclusiones y resultados

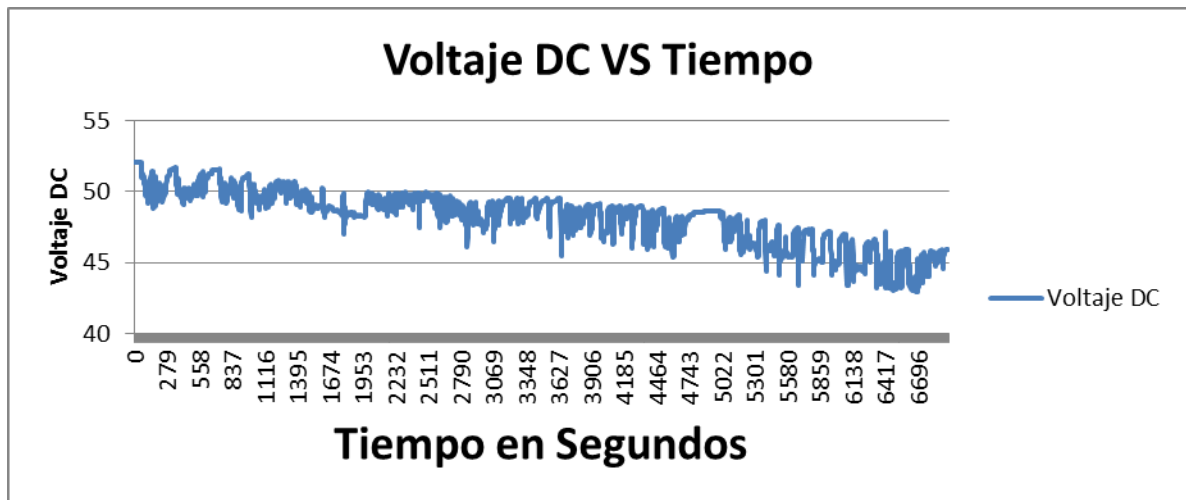
Estas conclusiones se registran después de realizar una prueba dinámica definida en el numeral 2. Análisis de resultados del ciclo de ruta adecuado. (Ver Anexo 15).

3.2.1 Análisis de variables y resultados de Pruebas Dinámicas (Prototipo CE-1 en movimiento)

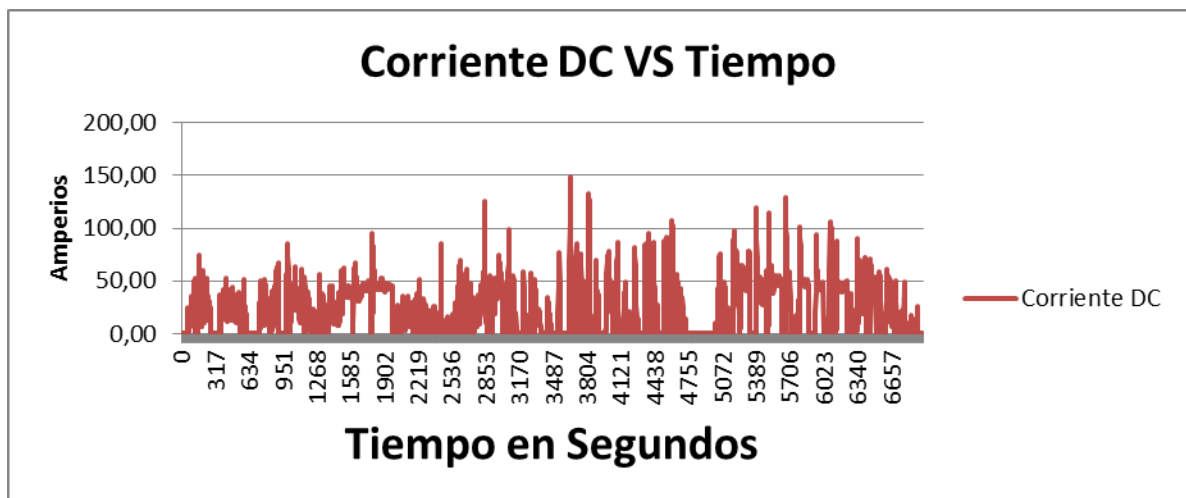
Figura 14. Comportamiento de la temperatura de las baterías



La Figura 14 respresenta los resultados del comportamiento de la tempertura de las baterías y el pack que es donde se encuetran almacenadas durante la prueba se observa una disminución progresiva de la temperatura que inicia entre los 23°C y 26°C va disminuyendo levemente hasta los valores entre los 21°C hasta los 22,5°C durante un tiempo de 6955 segundos.

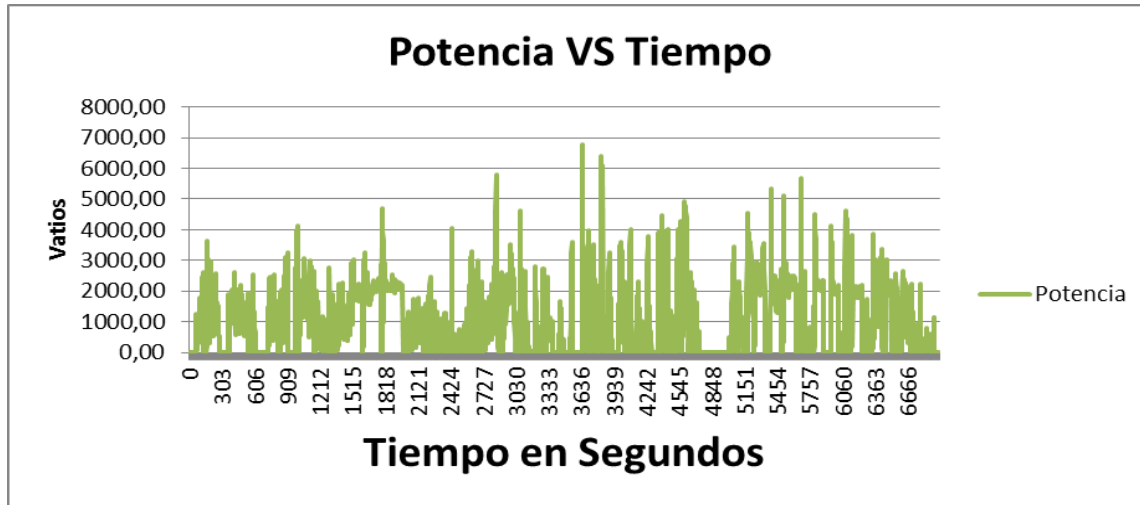
Figura 15. Comportamiento del voltaje en función del tiempo

La Figura 15 representa los resultados del comportamiento del voltaje que inicia en un valor de 52,1 V. Durante prueba se observó una disminución progresiva de el voltaje de hasta un valor mínimo de 42,9 V para luego quedar en un voltaje 45,9 V flotantes después de un recorrido de 23,48 km y un tiempo de 6955 segundos.

Figura 16 - Comportamiento de la corriente en función del tiempo

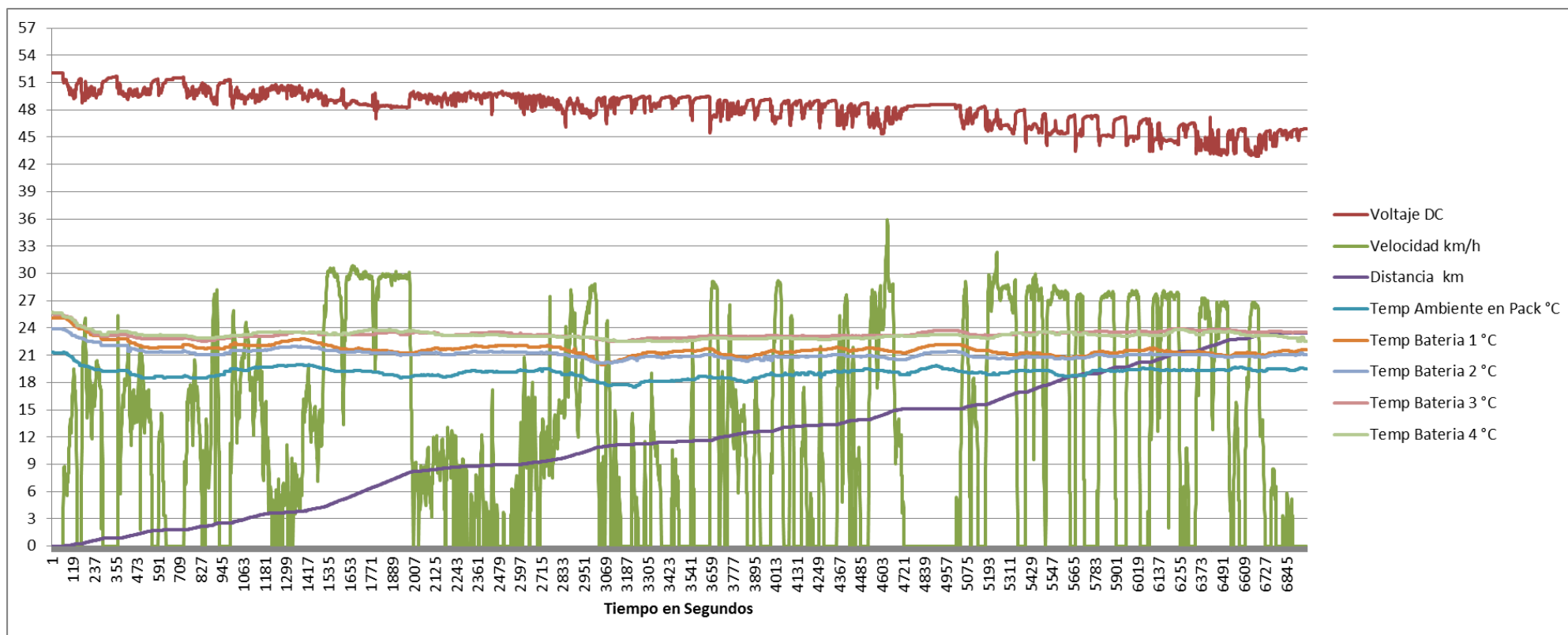
En la Figura 16 anterior representa el comportamiento de la corriente DC durante la prueba y se observa cómo la corriente aumenta y disminuye dependiendo del esfuerzo que realiza el vehículo eléctrico se puede observar también que durante su recorrido hay estados que inicia con un valor de 00 A de corriente esto es debido a que el vehículo podía estar parado o rodando.

Figura 17 - Comportamiento de la potencia en función del tiempo



La Figura 17 indica el comportamiento de la potencia demandada por el vehículo eléctrico durante el recorrido realizado se observar que aumenta y disminuye debido a la aceleración del prototipo CE-1 y su valores mínimos son de 0 por las paradas realizadas, y los picos son las arracadas.

Figura 18. Comportamiento de las variables del Prototipo CE 1 en pruebas dinámicas

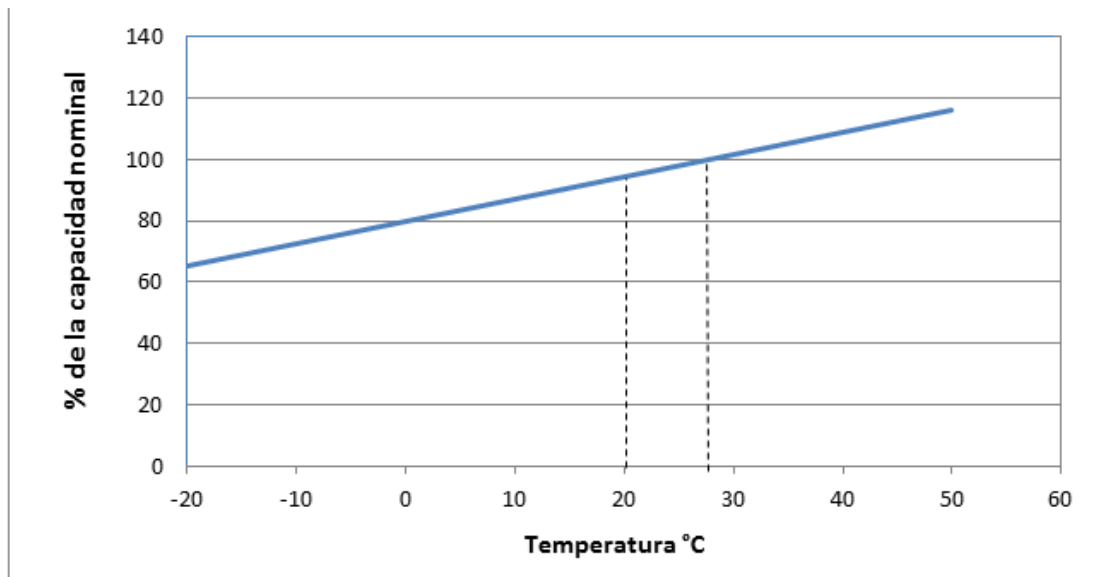


En la Figura 18 de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha se aprecia el comportamiento de las variables durante la prueba Dinámica donde el voltaje inicia con un valor de 52.1 voltios y va decreciendo hasta llegar a un valor mínimo de 42.9 voltios para luego estabilizarse en un valor flotante de 45 voltios, la velocidad del prototipo CE-1 se aprecia de color verde claro donde se observa el comportamiento de la velocidad máxima y mínima, al comparar la velocidad y el voltaje se puede apreciar que a mayor velocidad el voltaje disminuye y a menor velocidad el voltaje aumenta, cuando la velocidad se hace cero y el vehículo está quieto el voltaje aumenta debido a que no hay consumo de energía. Luego se aprecia el comportamiento de la temperatura en las baterías cuando el vehículo se encuentra en movimiento, entre los 19 °C y los 24 °C durante la prueba, también de color morado y de forma transversal ascendente observamos la distancia recorrida, que muestra la autonomía del prototipo CE-1 de 0 a 23.4 km.

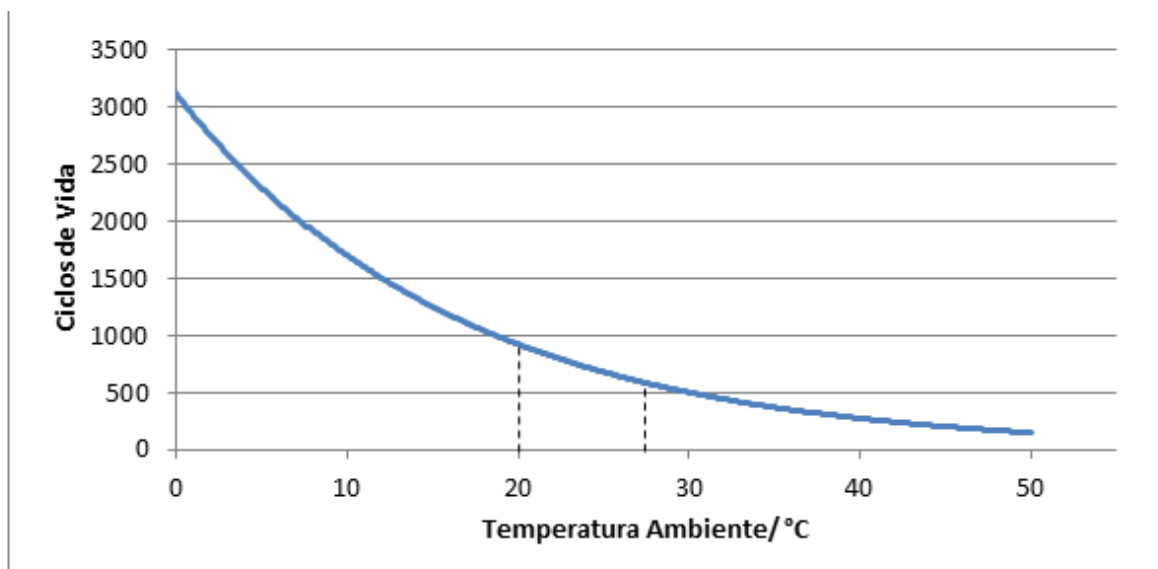
3.3 Análisis Comparativo de resultados pruebas Dinámicas y Estáticas

En este punto se quiere mostrar el análisis de resultados de las pruebas dinámicas y las pruebas estáticas con el fin de observar con más detalle el comportamiento de las variables.

Para el caso de este proyecto la capacidad de las baterías de 55 Ah, pasa a ser de 47 Ah a la temperatura ambiente entre 20 y 27 grados, en el proceso de recarga se observa en la Figura 19 que la batería sube por encima de 27 grados y allí permanece por espacio del 70% de sus 3.5 horas de recarga, esta condición implica un incremento en su capacidad respecto a la temperatura ambiente de 20°C de un 5.8%, pero con un decremento de su vida útil de un 38.6%. A una temperatura ambiente de 30°C, como el caso de Las tierras cálidas colombianas, el incremento de temperatura lo llevaría a cerca de 38° lo que implicaría un incremento en la capacidad de 5.86% y un decremento de la vida útil de 38.6% ver la Figura 20.

Figura 19. Efecto de Temperatura vs % de capacidad

En la Figura 20 muestra los ciclos de vida útil de las baterías en función de la temperatura ambiente.

Figura 20. Ciclos de vida vs Temperatura Ambiente

La capacidad de la batería calculada, de acuerdo con la norma IEEE 450, como la integral de la corriente de carga o descarga en el tiempo arrojó valores de 47 y 41,7 Ah, respectivamente, como lo indica la definición de Larrodé. [6].

$$\text{Eficiencia de Capacidad} = \frac{\text{Capacidad descarga}}{\text{Capacidad de recarga}} = \frac{40,69 \text{ Ah}}{47,08 \text{ Ah}} = 0.86$$

$$\text{Eficiencia de Capacidad} = 0.86 * 100 = 86\%$$

Este valor depende del esfuerzo al cual son sometidas las baterías.

En cuanto al consumo de energía del vehículo durante la prueba, existieron momentos en el tiempo que no hubo consumo de energía debido a las paradas que se realizaron, desde el punto A hasta un punto B, ya definidos anteriormente. El consumo durante la prueba fue de 1,91 kWh. La eficiencia de la energía eléctrica se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Eficiencia de la Energía} = \frac{\text{Energía descarga}}{\text{Energía de recarga}} = \frac{1.91 \text{ kWh}}{2,68 \text{ kWh}} = 0.712$$

Donde 2,68 kWh es el promedio de energía consumida del vehículo durante las pruebas estáticas de recarga. (Ver Tabla 1).

$$\text{Eficiencia de la Energía} = 0.712 * 100 = 71.2\%$$

Vida útil de las baterías

Según el fabricante no provee un dato exacto acerca de los ciclos de vida de la batería, indica un valor entre 300 y 400 ciclos. Por otro lado, en el artículo *Characteristics of advanced lead- acidspiralwond Deep cyclebattery* de John B. Olson [42] indica que los ciclos de vida de la batería son superiores a 200 ciclos.

Larrodé [6] menciona, en una de sus tablas, que el número de ciclos proyectados son de 1000, teniendo en cuenta que un ciclo es una recarga y una descarga.

En ese orden de ideas la autonomía que podría tener el Prototipo CE-1 serían las siguientes ver Tabla 3:

Tabla 3. Ciclos y distancia

Número Ciclos	Distancia máxima a recorrer en km
200	4600
300	6900
400	9200
1000	23000

En el caso del Prototipo CE-1 el número de ciclos que se llevan hasta el momento es de 60 ciclos, de los cuales 33 ciclos se realizaron sin carrocería con una distancia recorrida de 1122 km. Por otro lado, cuando se instala la carrocería el vehículo queda con una autonomía de recorrido de 23 km. Además, se han realizado 25 ciclos desde que se instaló la carrocería, eso quiere decir que se han recorrido 575 km. Al sumar las distancias recorridas se obtiene un valor de 1697 km. En conclusión se han realizado 58 ciclos y la distancia recorrida ha sido de 1697 km.

De acuerdo con las pruebas preliminares (durante la adecuación)¹ se pudo constatar que el peso del vehículo va en detrimento de la autonomía. Esto se evidenció de la siguiente manera: se realizó un primer recorrido en el cual se alcanzó una distancia de 35,6 km con un peso de 431 kg (341 kg, peso del vehículo sin carrocería, más 90 kg de tripulante y equipaje), frente a un segundo recorrido en el cual se logró una distancia de 23 km con un peso de 550 kg. (460 kg, peso del vehículo con carrocería, más 90 kg de tripulante y equipaje) (Ver Anexos 16 y 17).

¹ Estas pruebas se llevaron a cabo de manera preliminar durante el proceso de adecuación del vehículo por lo cual no aparecen registrada en el desarrollo del trabajo sino que se presentan a manera de complementación.

4. Conclusiones

Los resultados que se observan en todas las pruebas estáticas indican que ninguno de los tres tratamientos (100 V, 110 V y 120 V) afectó la tensión de recarga de las baterías, ya que la corriente que pasa de la red eléctrica residencial al paquete de baterías es regulada por el cargador. Dicho de otra forma, el cargador hace que la corriente sea independiente de la tensión de entrada.

De acuerdo con las pruebas de temperatura realizadas a cada una de las baterías se pudo establecer que ninguna de ellas presentó una temperatura que se pudiera considerar, en ninguno de los tres tratamientos (100 V, 110 V y 120 V), por encima los 50⁰C. Así mismo, dado que en promedio la temperatura de las baterías mientras estaba en estado de recarga fue entre 24 ⁰C y 26 ⁰C, en las condiciones climáticas de Bogotá, se puede decir que este no es un factor que afecte de forma significativa la vida útil de las mismas.

La temperatura ambiente a la altura de Bogotá no afecta significativamente la vida útil de las baterías, es posible que en climas cálidos afecte la vida útil de las mismas y sea necesario agregar una refrigeración o adecuar la posición del paquete de baterías.

Para cada tipo de baterías es necesario hacer un análisis económico que permita seleccionar la mejor alternativa de baterías a diferentes climas y el ciclo de uso del vehículo eléctrico.

Bibliografía

[1] VILLA, GAZULLA, Juan Luis. (2009). Sistemas de Transferencia de Energía para Vehículos Eléctricos Mediante Acoplamiento Inductivo". Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, España

[2] PÉREZ, PINAL, Francisco. (2008). El Vehículo Eléctrico. Consideraciones y etapas de su diseño. Lab Lambert Academic Publishing GmbH y Co.

3] SIERRA, F. (2011). Proyecto de investigación, sistema de movilidad extendida para parapléjicos. En: Vehículos Solares y Eléctricos (Proyecto VEU). Grupo de Investigación en Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia

[4] IMBETT, J (2011) Diseño Conceptual del Tren de Potencia de un Vehículo Eléctrico de alto Desempeño. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá.

[5] TORRES-FRANCO, D, URRIOLAGOITIA- SOSA, G., et als. (2008). Diseño de un montaje experimental para determinar la rentabilidad técnica de un vehículo híbrido eléctrico. En: Científica, Vol. 14, no. 1, enero- marzo 2010. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, México

[6] LARRODÉ –PELLICER, E (1997) Automóviles Eléctricos. Grupo I+D Transportes y Vehículos. Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes.

Departamento de Ingeniería Mecánica. Centro Politécnico Superior de Ingenieros. Universidad de Zaragoza

[7] REN, Q.; CROLLA, D.A y MORRIS, A. (2009). Effect of Transmission Design on Electric Vehicle (EV) Performance. Institute for Automotive and Manufacturing Advanced Practice (AMAP), University of Sunderland, Industry Centre.

[8] DE SANTIAGO, J; BERNHOFF, H; EKERGÅRD, B; ERIKSSON, S; FERHATOVIC, S; WATERS, R; and LEIJON, M. Electrical Motor Drivelines in Commercial All Electric Vehicles: a Review. En: Vehicular Technology a Publication of the Vehicular Technology Society

[9] BECKER-ROBLES, F y LINARES, P. Análisis de la influencia sobre el sector eléctrico de la penetración a gran escala del coche eléctrico. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid

[10] OSORIO-GÓMEZ, G y VIGANÓ, R. (2007). Propuesta de solución bimodal al problema de la contaminación vehicular urbana. Ingeniería e investigación, Vol. 1, núm. 3. Diciembre. Universidad Nacional de Colombia

[11] DE SANTIAGO, J; BERNHOFF, H; EKERGÅRD, B; ERIKSSON, S; FERHATOVIC, S; WATERS, R, & LEIJON, M. Electrical Motor Drivelines in Commercial All Electric Vehicles: a Review. En: Vehicular Technology a Publication of the Vehicular Technology Society

[12] LÓPEZ, TRINIDAD, Francisco, FULLEA, GARCÍA, José; AMASORRAÍN ZABALA, Juan Carlos; SANZBERRO IRIARTE Mikel & BASTERRA SÁENZ, Goretti. El vehículo Eléctrico. Tecnología, desarrollo y perspectivas de futuro. Mc Graw Hill. Madrid. 1997.

- [13]. IEEE 1188. Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve- Regulate Lead (VRLA) Batteries for Stationary Applications. IEEE Power Engineering Society. New York, USA. 2006.
- [14] SAE J 1634. SAE Handbook. Vol. 3 On- Highway Vehicles and Off- Highway Machinery. 1995. Society of Automotive Engineers, Inc
- [15] MOTOR PASIÓN. [En línea]. Consultado [5, mayo, 2011]. Disponible en: <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>
- [16] La Evolución del auto eléctrico. [En línea]. Consultado [5, mayo, 2011]. Disponible en: <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/16370540/La-evolucion-del-auto-electrico.html>
- [17] COSTAS Javier. (2009). Historia del Coche Híbrido: los Pioneros. [En línea]. Consultado [5, mayo, 2011]. Disponible en: <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-los-pioneros>
- [18] NAVARRO, Ezequiel; COLOMER, Pau y JEREZ, Felipe. (2010). “Nuevos Retos en la Electrónica del Automóvil”. Revista española de electrónica.
- [19] VELANDIA, Durán Edder Alexander. (2009) Energía Eléctrica. Alternativa energética para el transporte urbano sustentable en Colombia. Cargraphics S.A. Bogotá.
- [20] PIERRE BEER, Ferdinand, RUSELL JOHNSTON, E., MAZUREK, David F., y ESISENBERG, Eliot R. (2007). Mecánica Vectorial para Ingenieros- Estática. Editorial Mac Graw Hill. Edición 9. México.

[21] SERWAY, Raymond A y JEWETT, John W. (2005). Física para ciencias e ingeniería. 6ª Ed. Vol. 1. Editorial. Thomsom Learning. México. [En línea]. Consultado [1, marzo, 2012]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=muM-V-gJbUgC&pg=PA204&dq=potencia+y+ley+de+watt+en+ingenieria&hl=es-419&sa=X&ei=3lyBUczPI4WQ9gTYioDoCw&sqi=2&ved=0CC4Q6wEwAA#v=onepage&q=potencia%20y%20ley%20de%20watt%20en%20ingenieria&f=false>

[22] BRAMÓN, Planas Albert, CASAS, Vázquez José, LLEBOT, Rabagliati Josep y LÓPEZ, Aguilar Fernando. (2003). Física para la Ciencia y la Tecnología. Mecánica. Oscilaciones y ondas. Termodinámica. Departamento de Física de la Universidad Autónoma de Barcelona. Editorial, Reverté.

[23] FRENCH, A.P. (2006) Newtonian Mechanic. Massachusetts Institute of Technology. [En línea]. Consultado [1, marzo, 2012]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=Uh-37uU9dvUC&pg=PA225&dq=resistencia+del+aire&hl=es&sa=X&ei=JCqEUeTbAcuh4AP37oGYCw&ved=0CGMQ6AEwCA#v=onepage&q=resistencia%20del%20aire&f=false>

[24] SERWAY, Raymond A y JEWETT, John W. (2005). Física para ciencias e ingeniería. 6ª Ed. Vol. 1. Editorial. Thomsom Learning. México. [En línea]. Consultado [1, marzo, 2012]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=muM-V-gJbUgC&pg=PA204&dq=potencia+y+ley+de+watt+en+ingenieria&hl=es-419&sa=X&ei=3lyBUczPI4WQ9gTYioDoCw&sqi=2&ved=0CC4Q6wEwAA#v=onepage&q=potencia%20y%20ley%20de%20watt%20en%20ingenieria&f=false>

[25] LÉVY, Élie. (1988). Dictionnaire de Physique. Presses Universitaires de France. [En línea]. Consultado [1, marzo, 2012]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=eN0QQg0pJ2cC&printsec=frontcover&dq=diccionario+de+fisica&hl=es-419&sa=X&ei=e5yBUBKxKITO9AShsoDoDA&sqi=2&ved=0CC0Q6AEwAA>

[26] MORAN, Michael j., y SHAPIRO, Howard N. (2005). Fundamentos de Termodinámica. Versión es español: Grupo de Didáctica en Ingeniería Térmica. Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Zaragoza. [En línea]. Consultado [1, marzo, 2012]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=IJJcF1oqP5wC&pg=PA18&dq=concepto+de+temperatura&hl=es&sa=X&ei=PSmEUcuHDK-24APUn4HABQ&ved=0CDMQ6AEwAQ#v=onepage&q=concepto%20de%20temperatura&f=false=X&ei=PSmEUcuHDK-24APUn4HABQ&ved=0CDMQ6AEwAQ#v=onepage&q=concepto%20de%20temperatura&f=false>

[27] OROVIO, Astudillo Manuel. (2010). Tecnología del Automóvil. Paraninfo. España.
<http://books.google.com.co/books?id=JRSqKKaK9zcC&pg=PA84&dq=concepto+evoluciones+de+un+motor&hl=es&sa=X&ei=VbeGUfKhJunA0gGWz4GYDg&ved=0CDUQ6AEwAQ#v=onepage&q=concepto%20evoluciones%20de%20un%20motor&f=false>

[28]. ARBOLEDAS BRIHUEGA, David. Electricidad básica. Guía Práctica. Ediciones de la U. Bogotá. 2011.

[29] SIERRA, Vargas Fabio E, MURCIA, Gómez Danny A y CASTILLO, Heim Bjorn P (2011). Vehículos Solares y Eléctricos (Proyecto VEU). Grupo de Investigación en Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de ingeniería Mecánica y Mecatrónica

[30] La carrocería del vehículo. Electromecánica fácil. [En línea]. Consultado [20, abril, 2013]. Disponible en: <http://professionalautomotive.wordpress.com/2012/08/14/la-carroceria-del-vehiculo/>

[31] Sevcon.PartnerWith Performance. [En línea]. Consultado [20, abril, 2013]. Disponible en: <http://www.sevcon.com/>

[32] Electricmotorsports.com. [En línea]. Consultado [20, abril, 2013]. Disponible en: <http://www.electricmotorsport.com/>

[33] ¿Cómo detectar la necesidad de cambiar los amortiguadores? En: tiempomotor. [En línea]. Consultado [22, abril, 2013]. Disponible en: <http://www.tiempomotor.com/noticias/val/1921/como-detectar-la-necesidad-de-cambiar-los-amortiguadores-.html>

[34] Aficionados a la Mecánica. Sistema de Frenos. [En línea]. Consultado [22, abril, 2013]. Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

[35] Elcon. PFC 1500 Battery Charger [En línea]. Consultado [22, abril, 2013]. Disponible en: <http://www.elconchargers.com/catalog/item/7344653/7638003.htm>

[36] GONZÁLEZ, Gabriel. Anual de conversión paso a paso. Vehículos Eléctricos. 2011. www.autolibreelectrico.com.

[37] OPTIMA Batteries. Product Specifications. Batteries Council International BCI. United States of America

[38] SOCIEDAD DE TÉCNICOS DE AUTOMOCIÓN. El Vehículo Eléctrico. Desafíos Tecnológicos, Infraestructuras y Oportunidades de Negocio. Nova Era Barcelona. 2011.

[39] GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto & DE LA VARA SALAZAR, Román. Análisis y diseño de experimentos. Mc Graw Hill. México. 2003.

[40] ARSUAGA CHABOT, Pedro. Vehículos Eléctricos y redes para su descarga. Impacto en la sociedad y en la industria. De la edición Ra- Ma. Madrid. 2010.

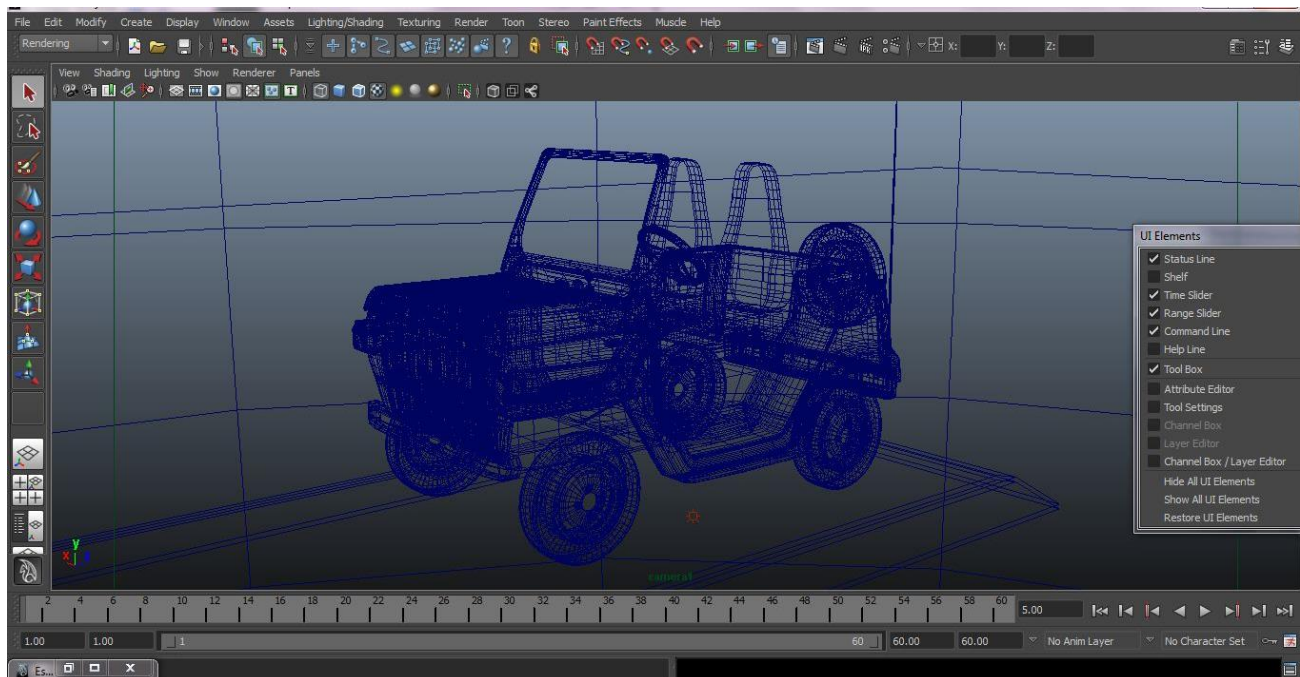
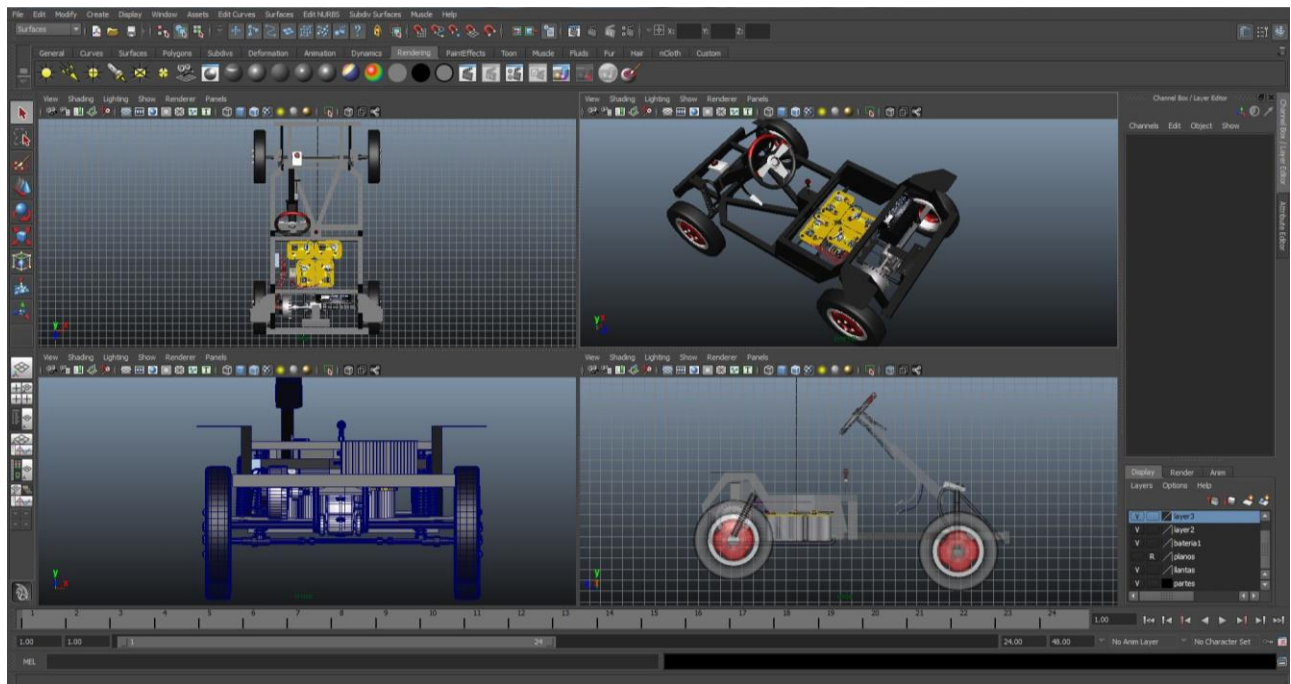
[41] EHSANI, Mehrdad, GAO Yimin & EMADI, Ali. Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory and Design. Taylor & Francis Group. University of West Florida. New York. 2010.

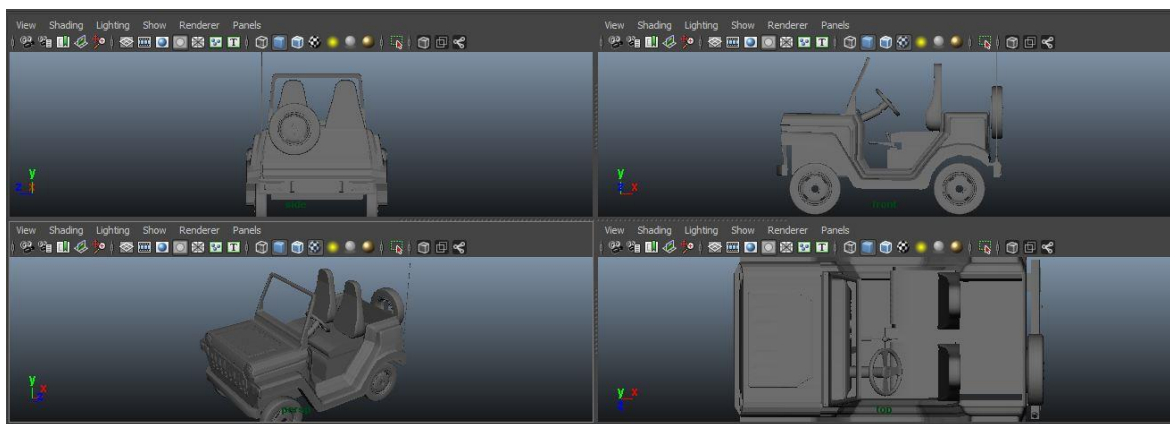
[42] OLSON, John B. Characteristics of advanced lead- acid spiral wound Deep cycle battery. Mississippi. 1996

[43] Efecto de temperatura en baterías tipo plomo-ácido. ENERGEX. Energía Confiable. [En línea]. Consultado [18, marzo, 2014].
<http://www.energex.com.co/pdf/temperaturabaterias.pdf>

[44] Kejun Qian, Chengke Zhou, Yue Yuan, Malcolm Allan Temperature Effect on Electric Vehicle Battery Cycle Life in Vehicle to Grid Applications. Conference on Electricity Distribution China International 2010

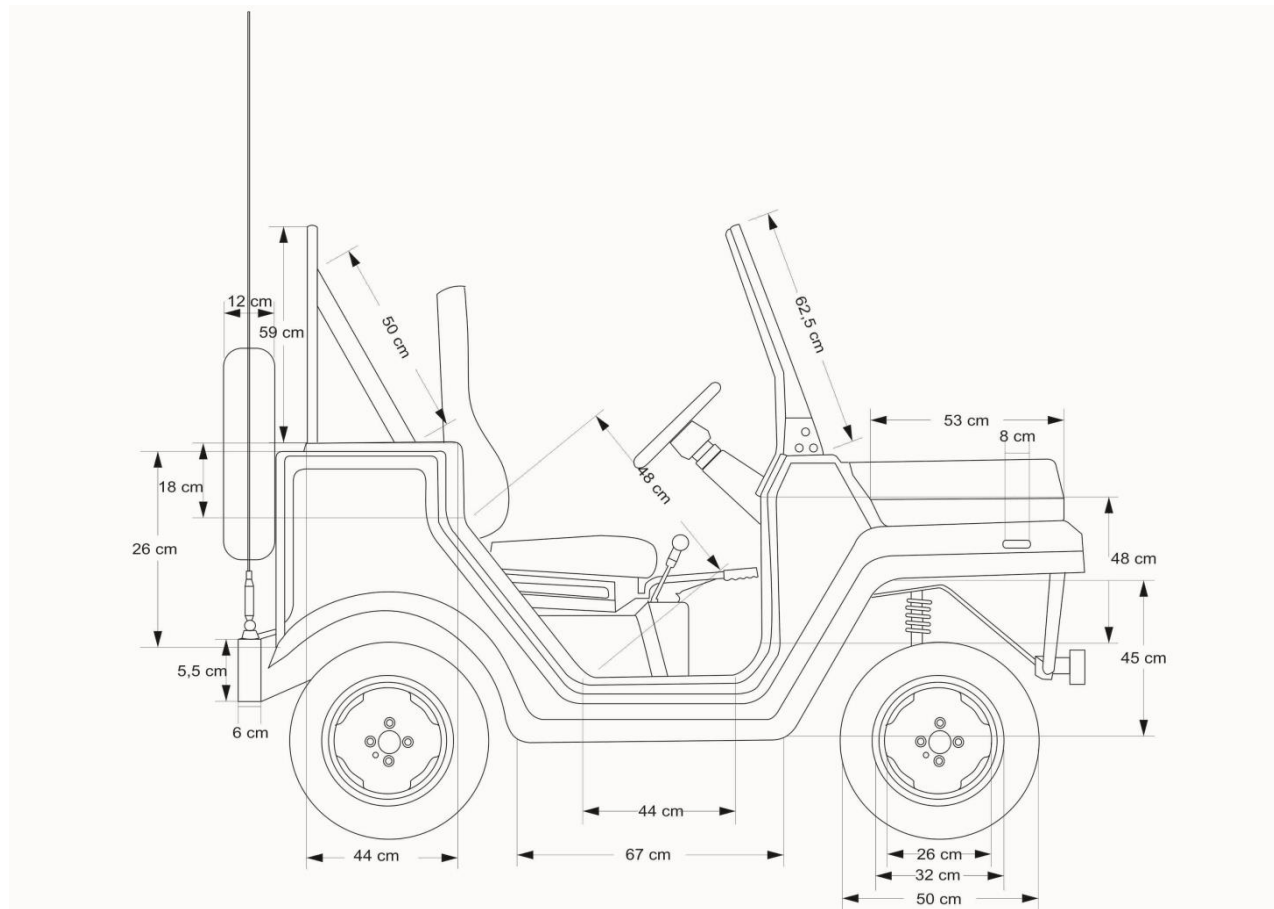
ANEXO 1. Imágenes importantes de Prototipo CE-1 en computador



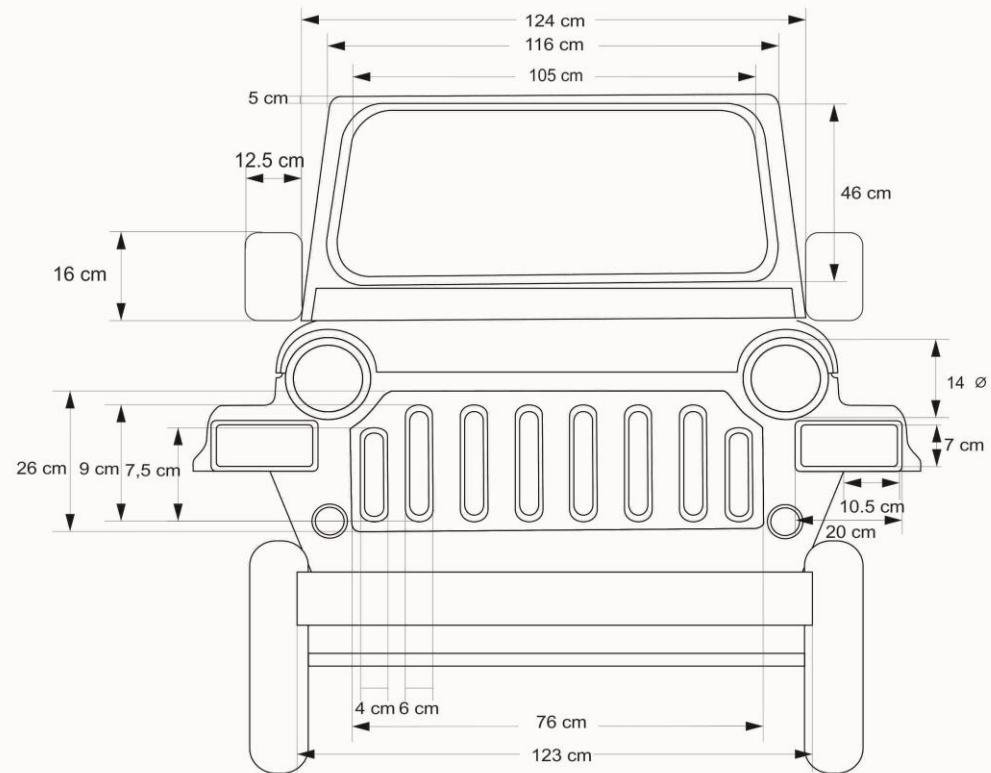


ANEXO 2. Planos diferentes vistas del Prototipo CE-1

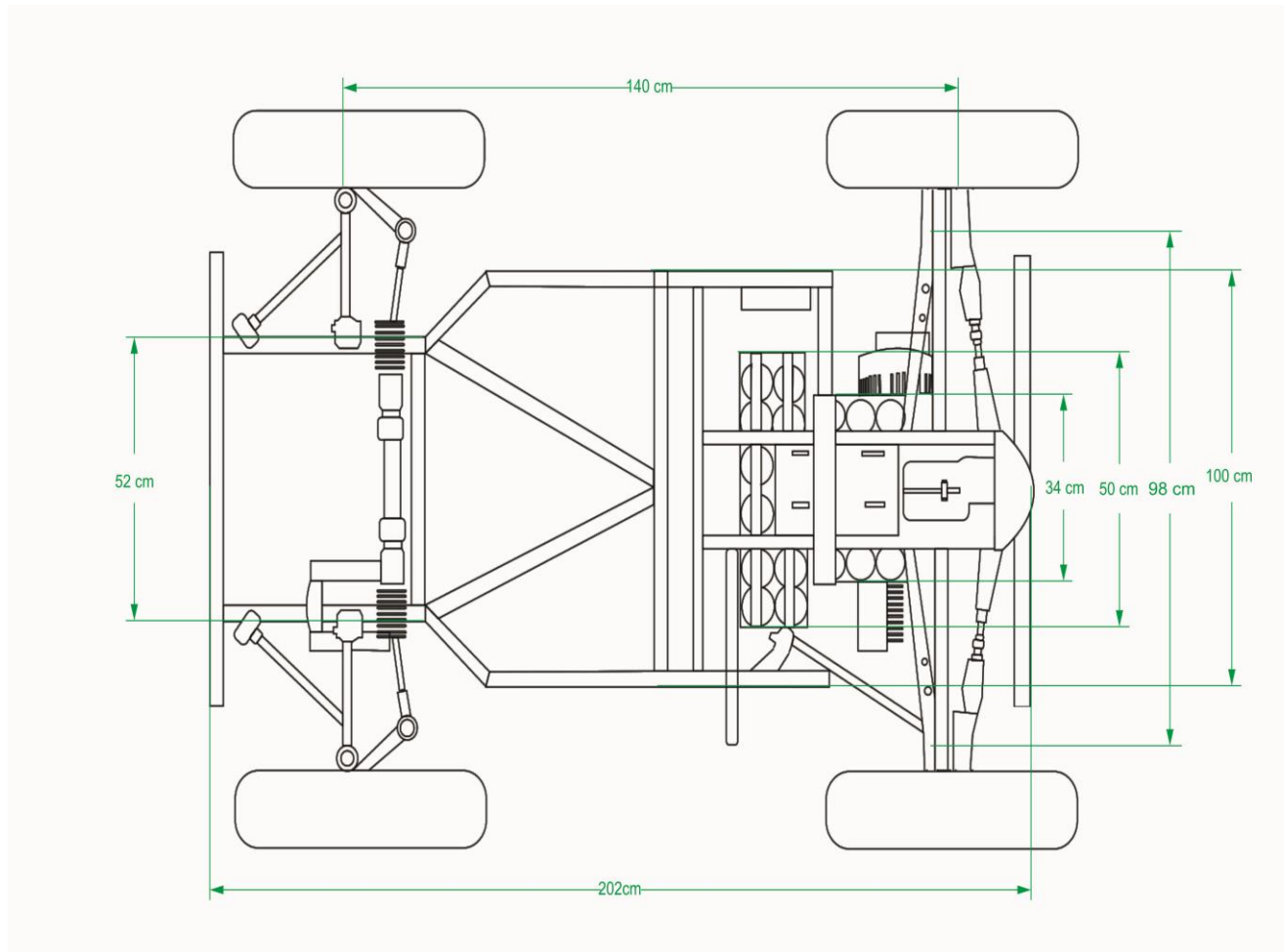
VISTA EXTERIOR LATERAL



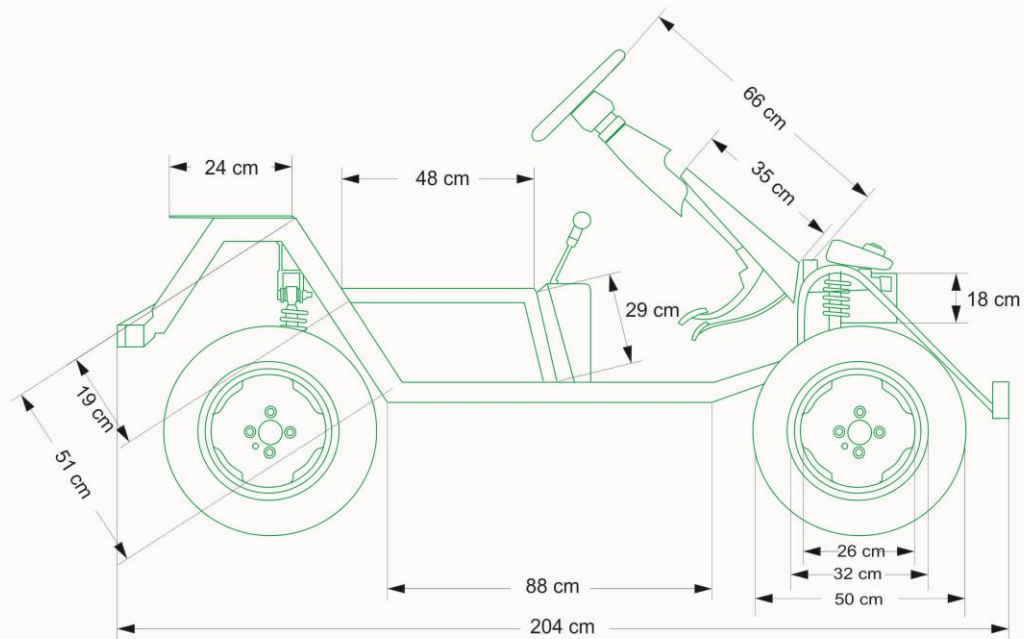
VISTA EXTERIOR FRONTAL

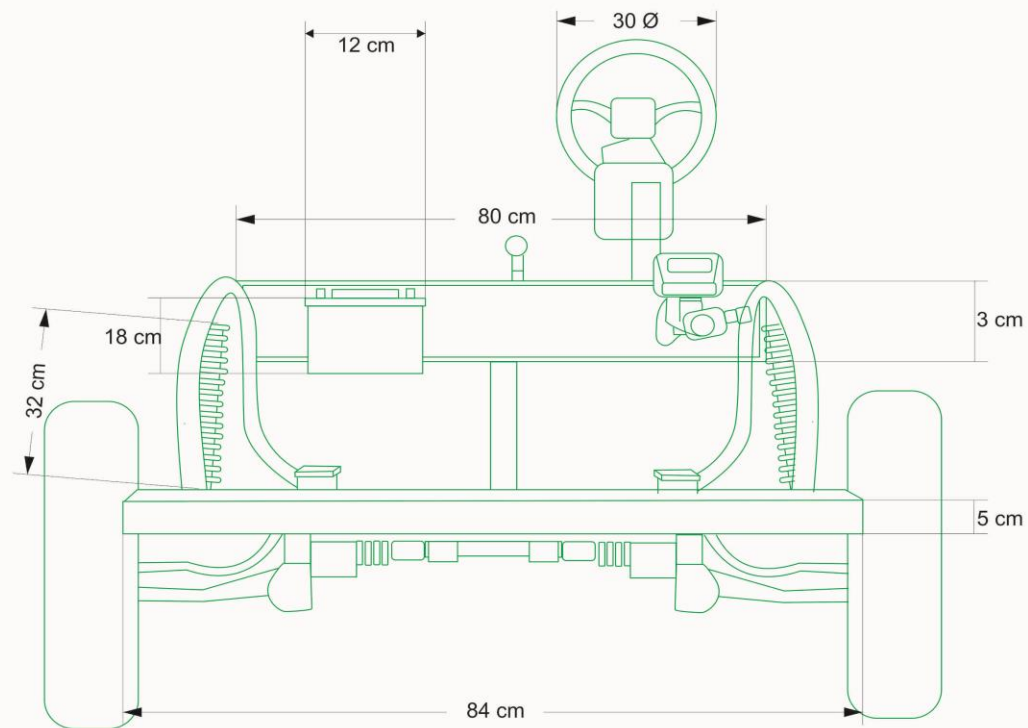


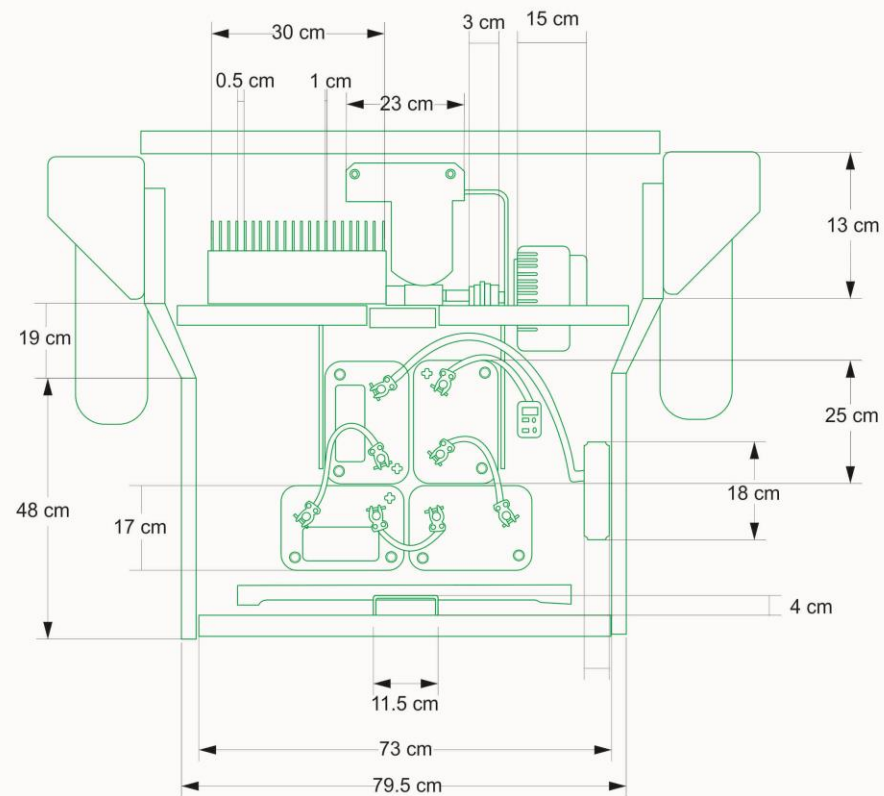
VISTA INTERIOR INFERIOR

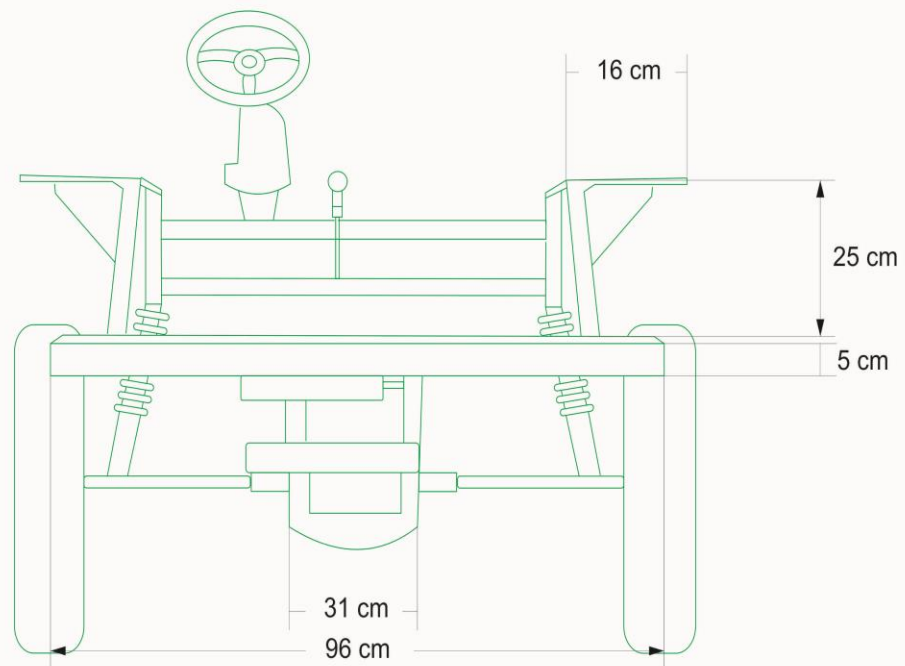


VISTA INTERIOR LATERAL



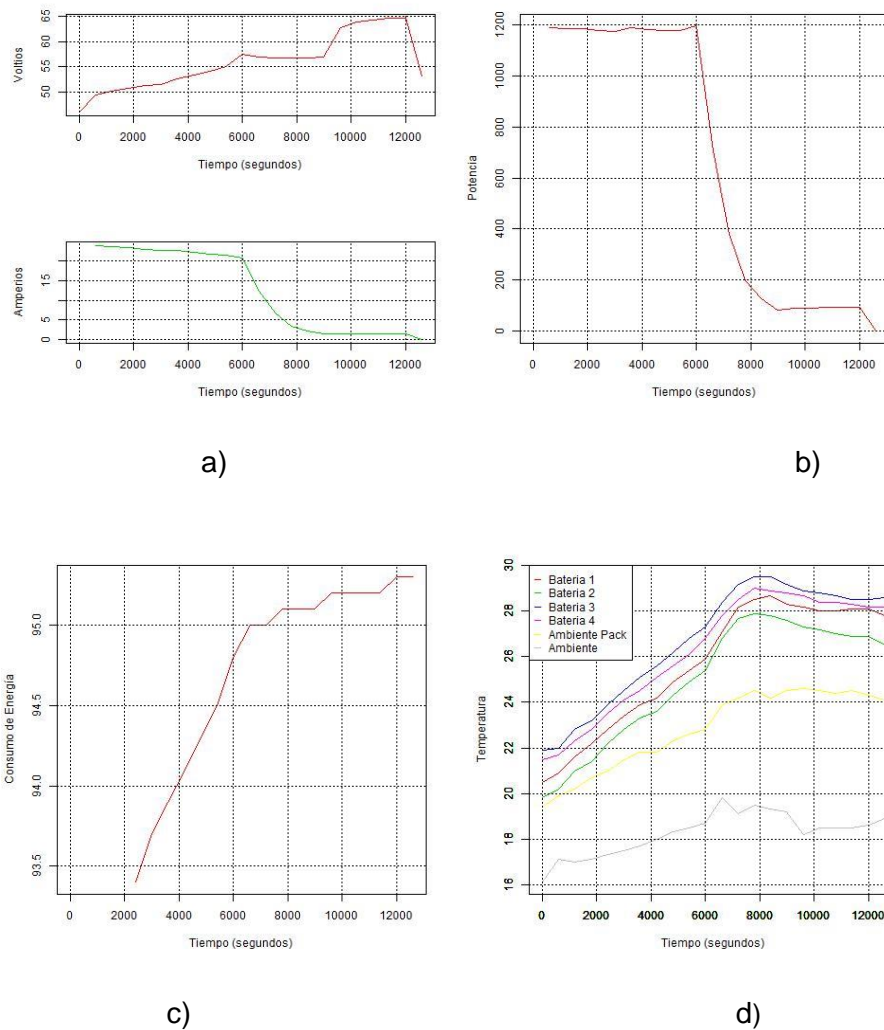
VISTA INTERIOR FRONTAL

VISTA SUPERIOR INTERNA

VISTA ANTERIOR POSTERIOR

ANEXO 3. Primera prueba estática a 100 v-1

Figura 21. Resultados de la prueba estática 100 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



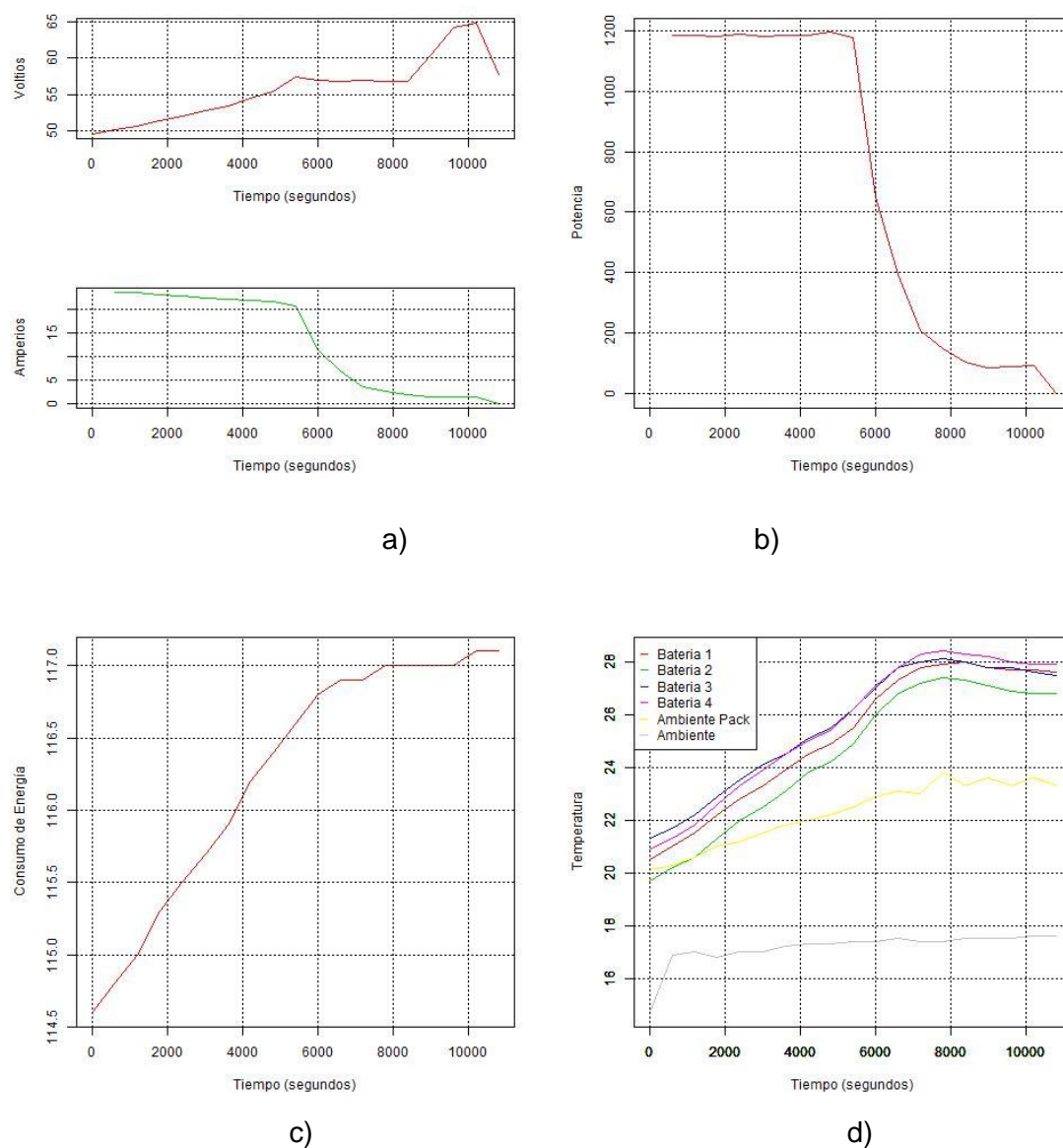
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de primera recarga a 100v-1. La Figura 21 a) muestra el comportamiento voltaje DC y la Corriente DC donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 46 V y en la medida del tiempo transcurrido aumenta hasta valor máximo de 64,8 V para luego estabilizarse en una valor de 53,2 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,98 A que luego va disminuyendo hasta que se hace cero, terminado el proceso de recarga de las baterías. La Figura 21 b) indica el comportamiento de la potencia

suministrada a las baterías durante el periodo de carga iniciando con un valor de 1187,20 w hasta los 6000 s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 21 c) muestra el consumo de energía durante la prueba, inicia en 93,4 kWh y termina en 95,3 kWh con un consumo total de 2,8 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 21 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 19 °C y 22 °C y aumenta hasta los 8400 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris por debajo de todas las otras temperaturas.

ANEXO 4. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 100v-2.

Las siguientes gráficas corresponden a la segunda recarga con un voltaje alterno de 100 voltios, con un tiempo de 10.800 segundos:

Figura 22. Resultados de prueba estática 100 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente

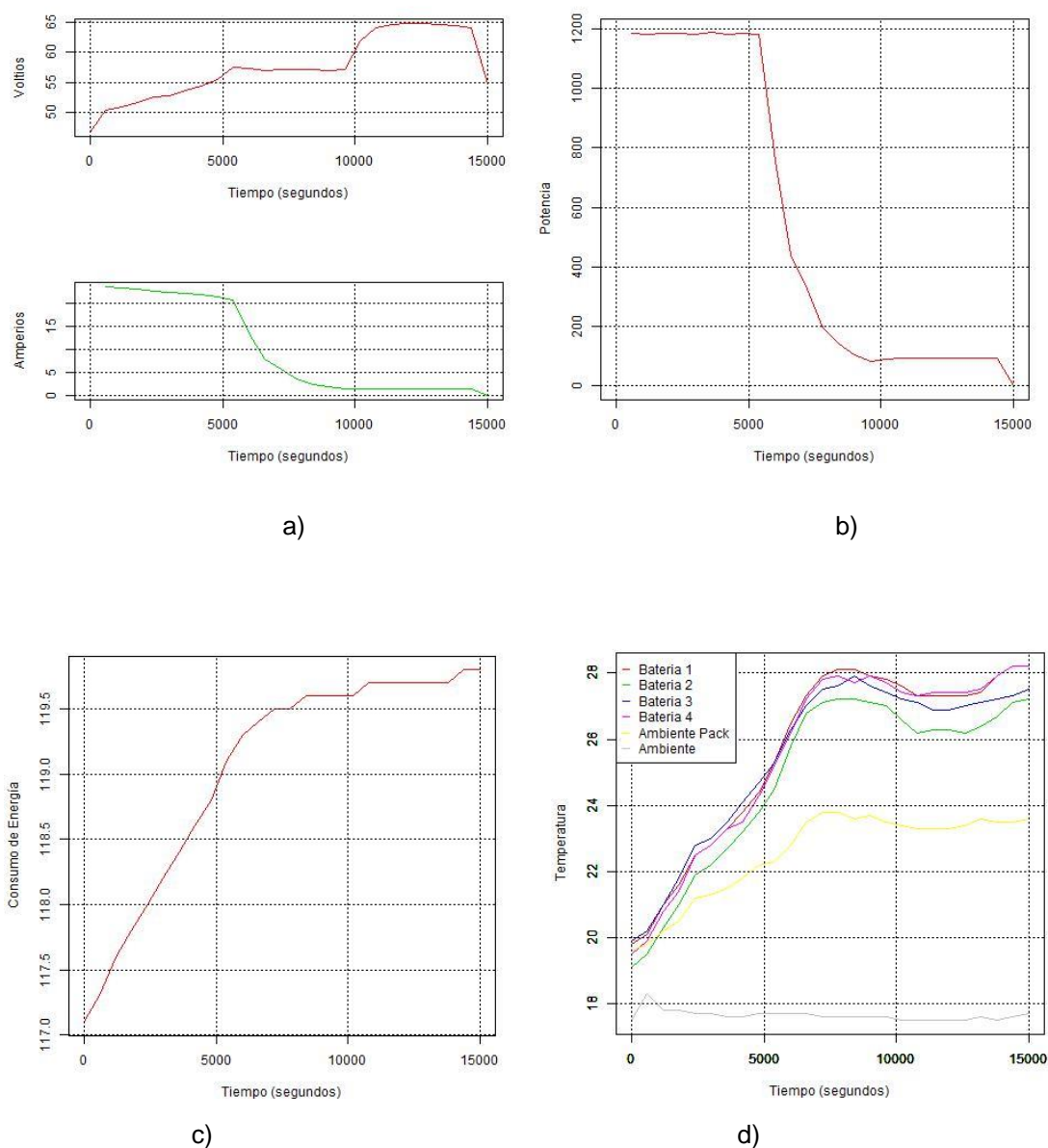


Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de segunda recarga a 100v-2. La Figura 22 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 49,6 V y en el tiempo transcurrido aumenta hasta valor máximo de 64,9 V para que luego se estabilice en un valor de 57,7 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,58 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 10.800s, esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 22 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de carga iniciando con un valor de 1183,58w hasta los 4800s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 22 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 114,6 kWh y termina en 117,1 kWh con un consumo total de 2,5 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 22 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 19,7° C y 22°C y aumenta progresivamente hasta 7800 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 14,7 °C por debajo de todas las otras temperaturas.

ANEXO 5. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 100v-3.

Las siguientes gráficas corresponden a la tercera recarga con un voltaje alterno de 100 voltios, con un tiempo de 15000 segundos:

Figura 23. Resultados de prueba estática 100 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente

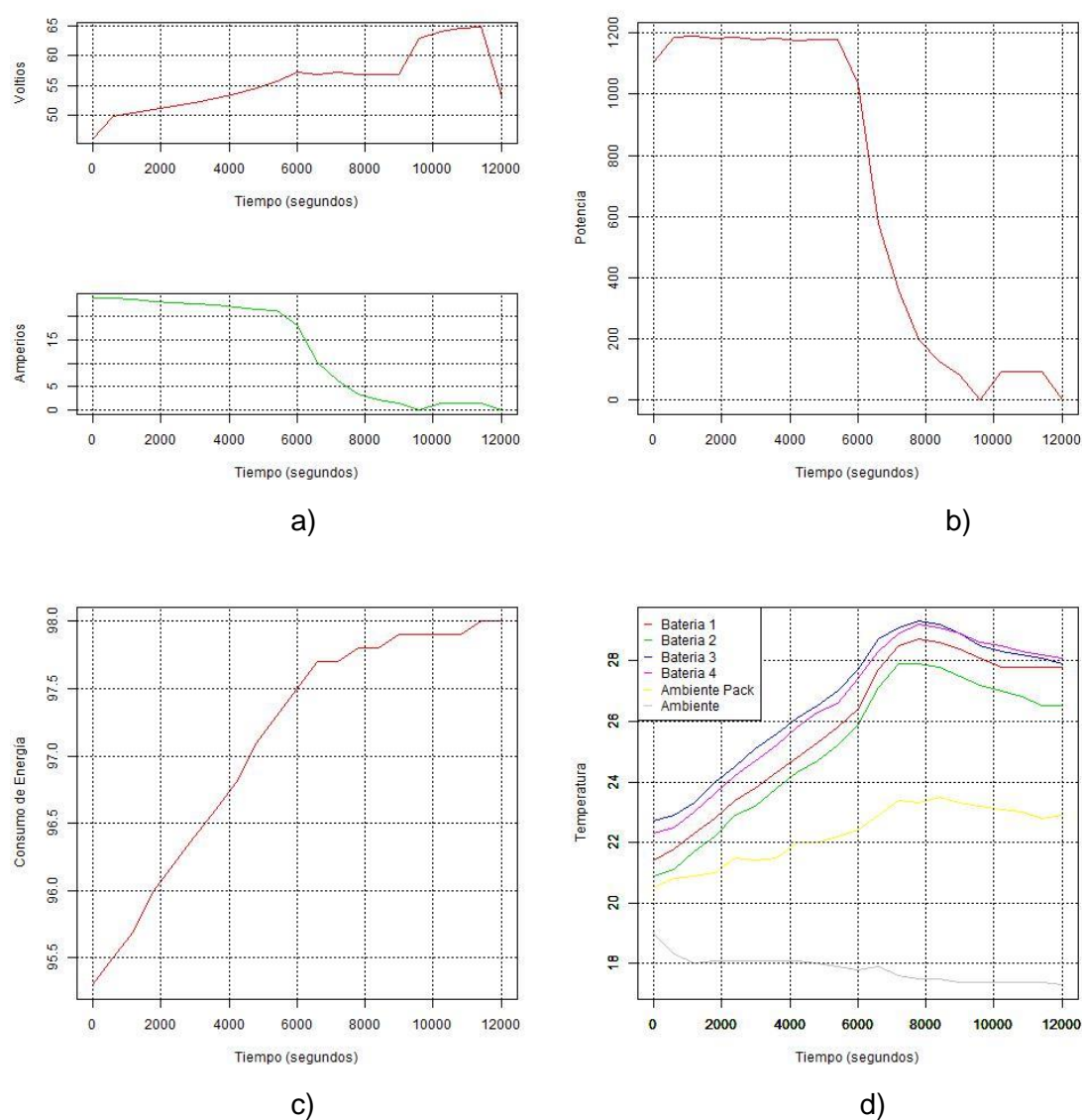


Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de tercera recarga a 100v-3. la Figura 23 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 46,7 V y en un tiempo de 12000s aumenta hasta valor máximo de 64,9 V para que luego se estabilice en un valor de 54,8 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,58 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 15000s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 23 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de carga iniciando con un valor de 1185,93w hasta los 5400s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 20 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 117,1 kWh y termina en 119,8 kWh con un consumo total de 2,7 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 23 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 19,1°C y 20°C y aumenta progresivamente hasta 7800 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 17,5°C por debajo de todas las otras temperaturas.

ANEXO 6. Primera prueba estática con voltaje de recarga a 110v-1.

Las siguientes gráficas corresponden a la primera recarga con un voltaje alterno de 110 voltios, con un tiempo de 12.000 segundos:

Figura 24. Resultados de la prueba estática 110 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente

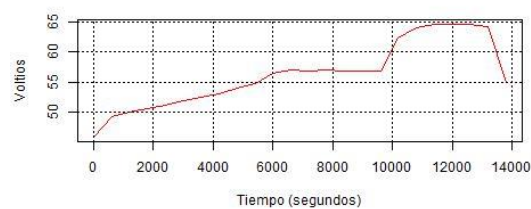


Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de la primera recarga a 110v-1. la Figura 24 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 46,1 V y en un tiempo de 11400 s aumenta hasta valor máximo de 64,9 V para que luego descienda a un valor de 53,2 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,98 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 12000s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 24 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de recarga iniciando con un valor de 1105,65w hasta los 5400s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 24 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 95,3 kWh y termina en 98 kWh con un consumo total de 2,7 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 24 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 20 °C y 23 °C y aumenta progresivamente hasta 7800 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 19 °C por debajo de todas las otras temperaturas.

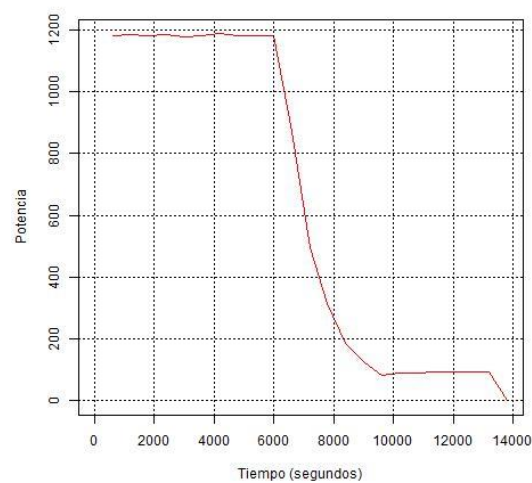
ANEXO 7. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 110v-2.

Las siguientes gráficas corresponden a la segunda recarga con un voltaje alterno de 110 voltios, con un tiempo de 13800 segundos:

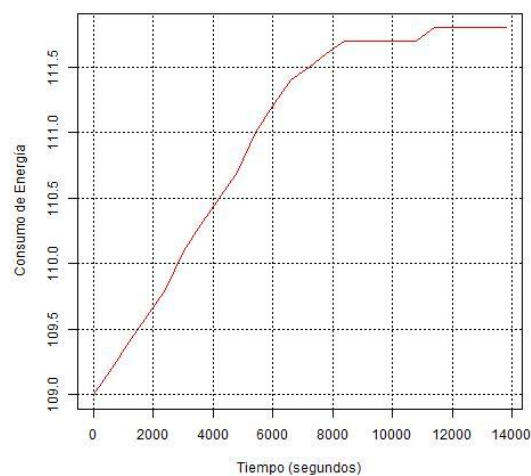
Figura 25. Resultados de la prueba estática 110 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



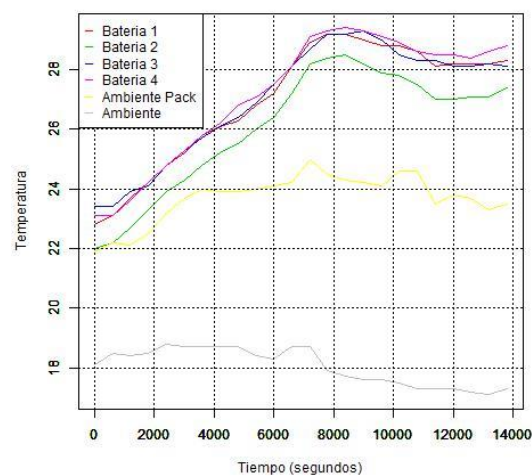
a)



b)



c)



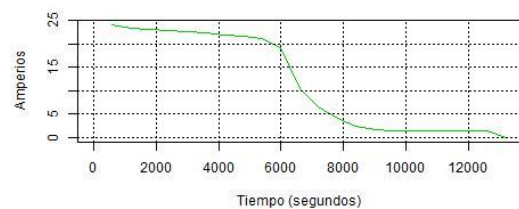
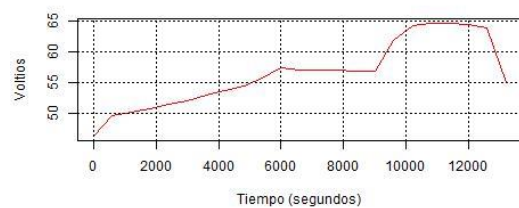
d)

Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de la segunda recarga a 110v-2. La Figura 25 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 45,8 V y en un tiempo de 12000s aumenta hasta valor máximo de 64,7 V para que luego descienda a un valor de 54,9 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,98 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 13.800 s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 25 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de carga iniciando con un valor de 1180 w hasta los 6000s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 25 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 109 kWh y termina en 111,8 kWh con un consumo total de 2.8 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 25 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 21,9°C y 23,5°C y aumenta progresivamente hasta 8400 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 18,1°C por debajo de todas las otras temperaturas.

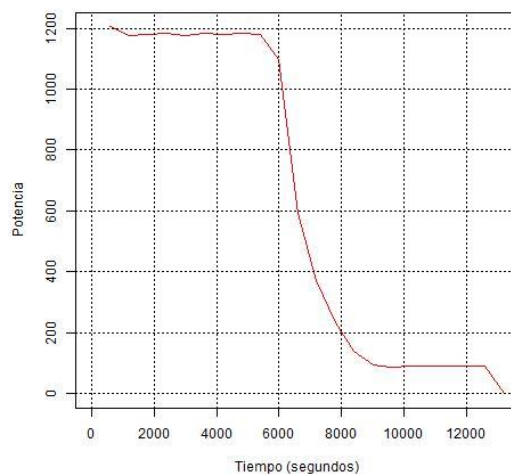
ANEXO 8. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 110v-3.

Las siguientes gráficas corresponden a la Tercera recarga con un voltaje alterno de 110 voltios, con un tiempo de 13200 segundos:

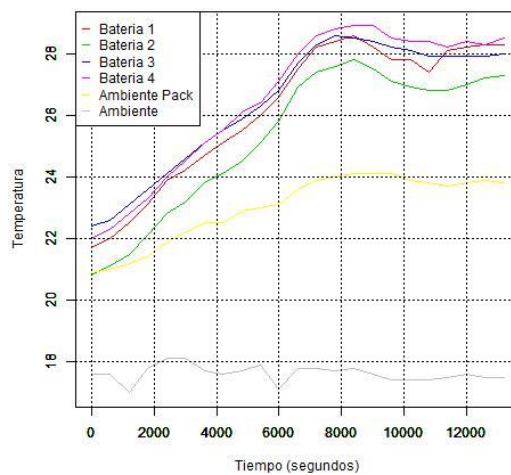
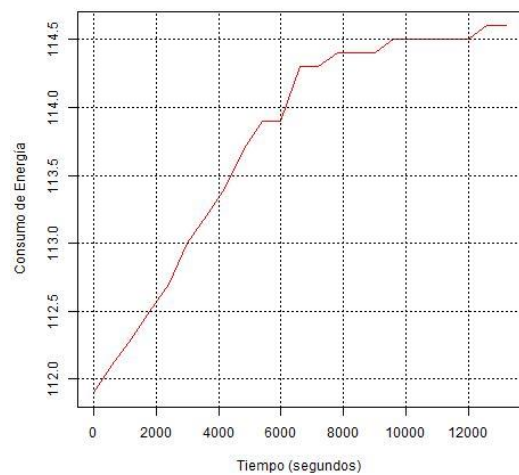
Figura 26. Resultados de la prueba estática 110 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



a)



b)



c)

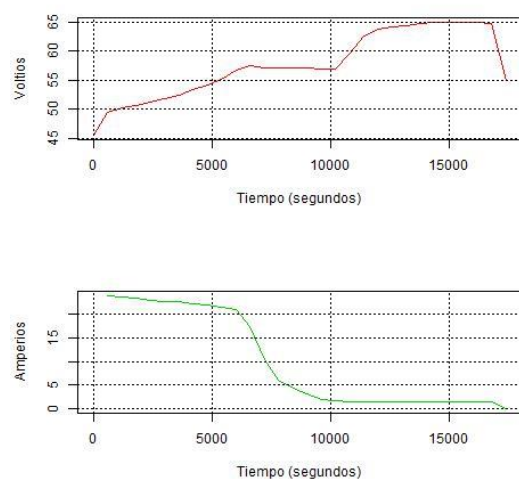
d)

Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de la tercera recarga a 110 v-3. La Figura 26 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 46,4 V y en un tiempo de 10800 s aumenta hasta valor máximo de 64,7 V lo mantiene hasta los 11400 s para que luego descienda a un valor de 55,1 V. La corriente DC inicia con un valor de 24,19 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 13200s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 26 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de recarga iniciando con un valor de 1204,51 w hasta los 5400 s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 26 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 111,9 kWh y termina en 114,6 kWh con un consumo total de 2,7 kWh durante todo el proceso de recarga del Prototipo CE-1. Figura 26 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 20,8 °C y 22 °C y aumenta progresivamente hasta 8400 s se mantiene hasta 9000s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 17,6 °C por debajo de todas las otras temperaturas.

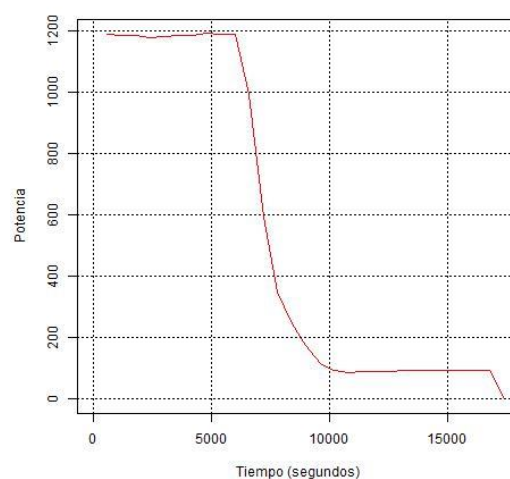
ANEXO 9. Primera prueba estática con voltaje de recarga a 120v-1.

Las siguientes gráficas corresponden a la primera recarga con un voltaje alterno de 120 voltios, con un tiempo de 17400 segundos:

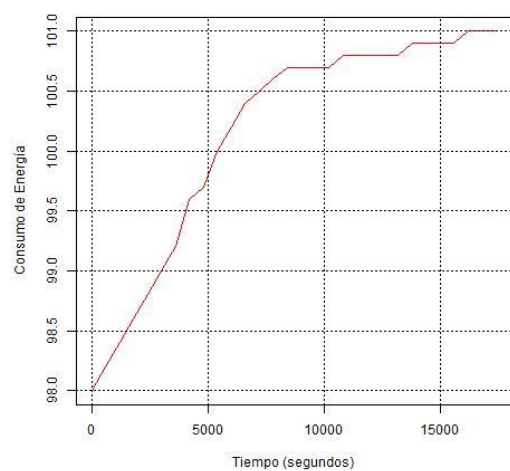
Figura 27. Resultados de la prueba estática 120 V -1, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



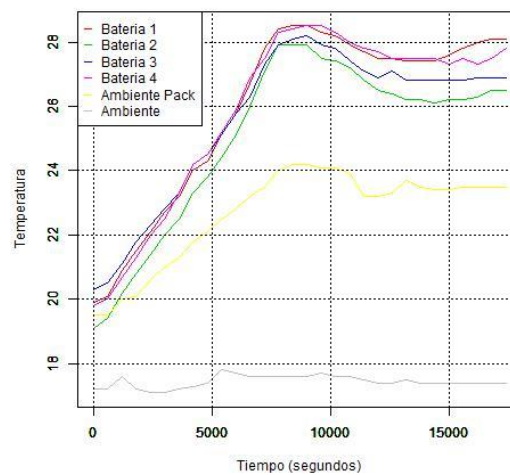
a)



b)



c)



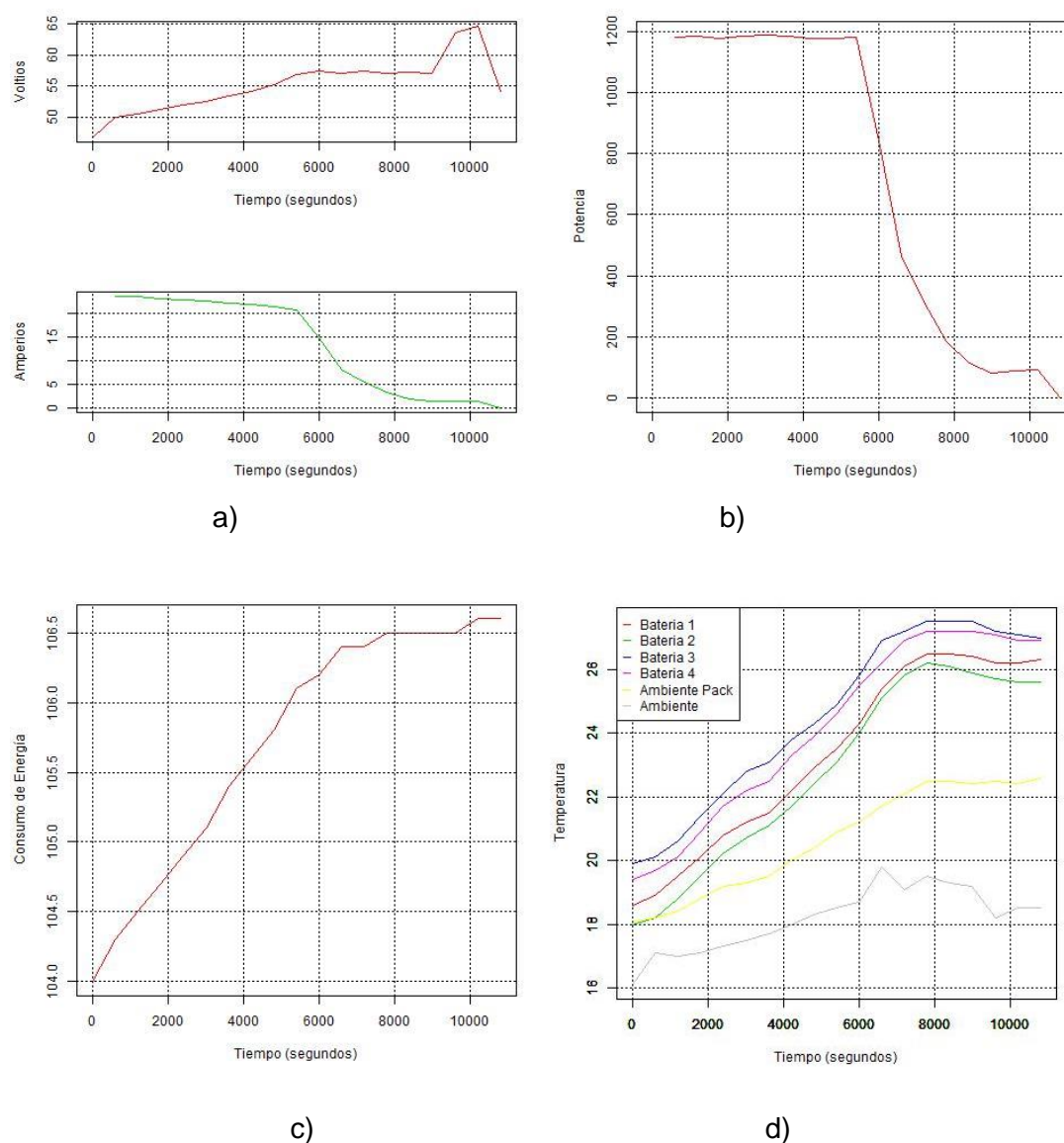
d)

Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de la primera recarga a 120v-1. la Figura 27 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 45,6 V y en un tiempo de 15000s aumenta hasta valor máximo de 65 V manteniéndose hasta los 16200s para que luego descienda a un valor de 54,9 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,98 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 17400s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 27 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de recarga iniciando con un valor de 1187,20w hasta los 6000s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 24 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 98 kWh y termina en 101 kWh con un consumo total de 3 kWh durante todo el proceso de recarga del Prototipo CE-1. La Figura 27 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 19,1 °C y 20,3 °C y aumenta progresivamente hasta 9000 s y se mantiene hasta 9600s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 17,2 °C por debajo de todas las otras temperaturas.

ANEXO 10. Segunda prueba estática con voltaje de recarga a 120v-2.

Las siguientes gráficas corresponden a la segunda recarga con un voltaje alterno de 120 voltios, con un tiempo de 10800 segundos:

Figura 28. Resultados de la prueba estática 120 V -2, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



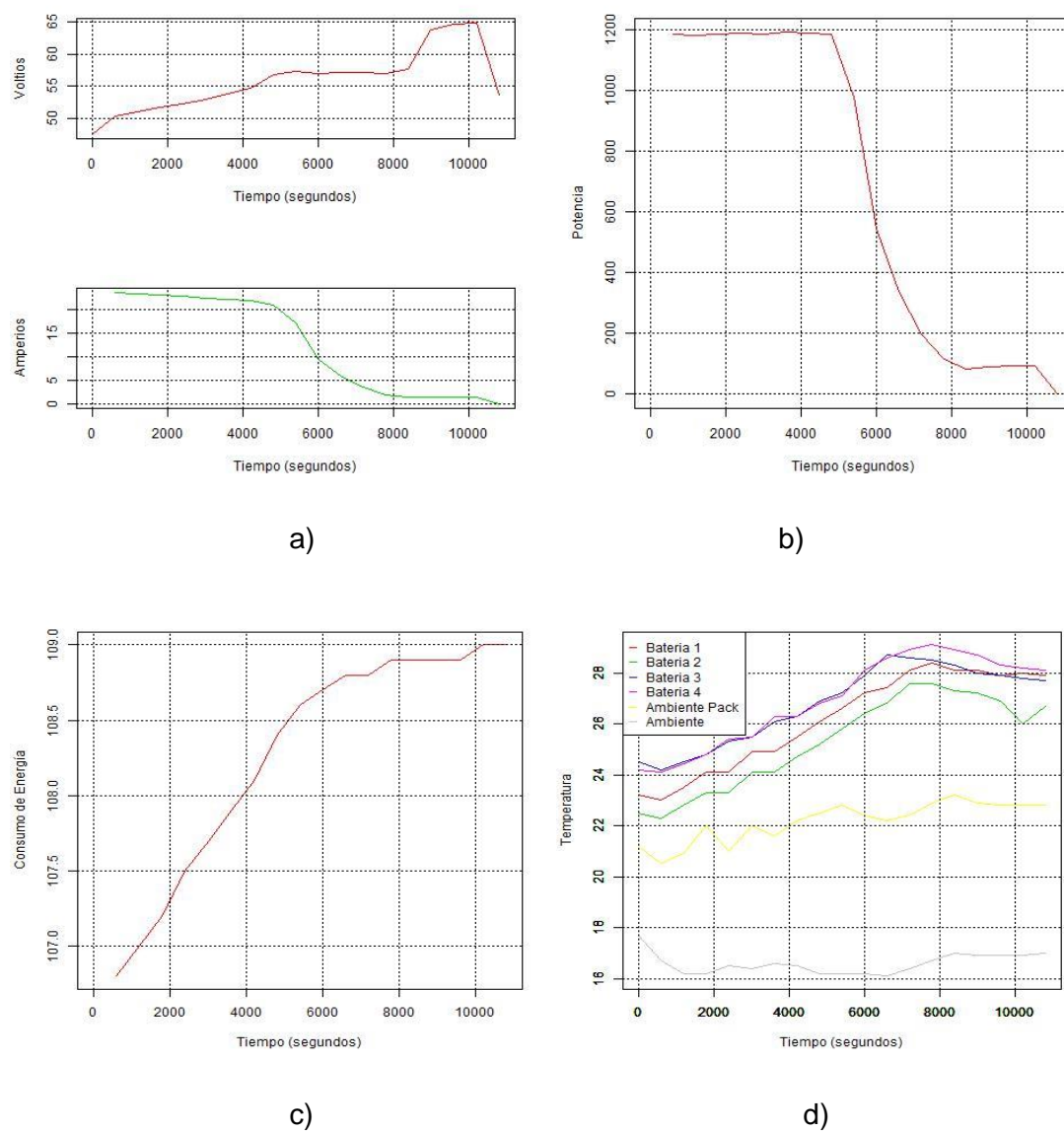
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de recarga a 120v-2. La Figura 28

a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 46,8 V y en un tiempo de 10200s aumenta hasta valor máximo de 64,7 V para que luego descienda a un valor de 54,2 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,58 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 10800s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 28 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de recarga iniciando con un valor de 1181,22w hasta los 5400 s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 28 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 104 kWh y termina en 106,6 kWh con un consumo total de 2,6 kWh durante todo el proceso de recarga del Prototipo CE-1. Figura 28 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 18°C y 19,9°C y aumenta progresivamente hasta 6000 s y se mantiene hasta 7800 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 16,1 °C por debajo de todas las otras temperaturas, ascendiendo hasta 19,5 °C para terminar en 18,5 °C, durante la prueba.

ANEXO 11. Tercera prueba estática con voltaje de recarga a 120v-3.

Las siguientes gráficas corresponden a la tercera recarga con un voltaje alterno de 120 voltios, con un tiempo de 10.800 segundos:

Figura 29. Resultados de la prueba estática 120 V -3, a) Voltaje DC. Corriente DC, b) Potencia, c) Consumo de energía, d) Temperatura de las 4 baterías, Pack y ambiente



Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas estáticas de la tercera recarga a 120v-3. La Figura 29 a) muestra el comportamiento del Voltaje DC y la Corriente DC. Donde el voltaje DC de las baterías inicia en un voltaje de flotación de 47,5 V y en un tiempo de 10200s aumenta hasta valor máximo de 64,9 V para que luego descienda a un valor de 53,6 V. La corriente DC inicia con un valor de 23,58 A, que luego va disminuyendo hasta que se hace cero terminado el proceso de recarga de las baterías, la duración fue de 10800s esto debido al estado de descarga en que se encontraban las baterías. La Figura 29 b) indica el comportamiento de la potencia suministrada a las baterías durante el periodo de recarga iniciando con un valor de 1185,93w hasta los 4800s para comenzar a disminuir hasta llegar a un valor de cero. La Figura 26 c) muestra el consumo de energía durante la prueba que inicia en 106,6 kWh y termina en 109 kWh con un consumo total de 2,4 kWh durante todo el proceso de recarga de Prototipo CE-1. Figura 29 d) indica el comportamiento de las 4 baterías, el pack que es donde se encuentran almacenadas y la temperatura ambiente, durante la prueba se observa el aumento progresivo de la temperatura que inicia entre los 21,2°C y 24,5 °C y aumenta progresivamente hasta 7800 s para empezar a disminuir. Se observa la temperatura ambiente de color gris que inicio en 17,7 °C por debajo de todas las otras temperaturas.

ANEXO 12. Tabla de tensiones

Tabla 4 - Tabla de tensiones

Tiempo	Tensión											
	100-1	100-2	100-3	110-1	110-2	110-3	120-1	120-2	120-3	Promedio	DES-EST	Des - Relativa
600	50,2	50,2	50,3	50,4	50,5	50,3	50,2	50,1	50,3	50,28	0,12	0,2%
1200	50,7	50,7	51	51	51,2	50,9	50,7	50,6	51	50,87	0,20	0,4%
1800	51,3	51,4	51,6	51,6	51,8	51,6	51,3	51,3	51,7	51,51	0,19	0,4%
2400	51,5	52,1	52,5	52,2	52,4	52,2	51,9	52	52,3	52,12	0,30	0,6%
3000	52,6	52,8	52,8	52,9	53,1	53	52,5	52,6	53	52,81	0,21	0,4%
3600	53,3	53,5	53,6	53,6	53,9	53,7	53,5	53,4	53,8	53,59	0,19	0,4%
4200	54,1	54,5	54,4	54,7	54,8	54,5	54,2	54,2	54,7	54,46	0,25	0,5%
4800	55,1	55,4	55,5	55,8	56,4	55,8	55,2	55,2	56,7	55,68	0,56	1,0%
5400	57,6	57,4	57,5	57,3	57,1	57,5	56,8	56,9	57,3	57,27	0,28	0,5%
6000	56,9	57	57,3	56,8	56,8	57,1	57,5	57,4	57	57,09	0,26	0,5%
6600	56,7	56,8	56,9	57,2	57	57	57,1	57,1	57,2	57,00	0,17	0,3%
7200	56,8	57	57,2	56,9	56,9	57,1	57,2	57,4	57,2	57,08	0,19	0,3%
7800	56,7	56,9	57,1	56,9	56,8	56,8	57,2	57,1	56,9	56,93	0,17	0,3%
8400	56,9	56,9	57,1	56,8	56,8	56,9	57,1	57,2	57,6	57,03	0,25	0,4%
9000	62,9	60,3	56,9	62,9	62,4	61,8	57	57,1	63,7	60,56	2,82	4,7%
9600	63,9	64,2	57,1	64,1	64	64,3	57	63,6	64,7	62,54	3,13	5,0%
10200	64,4	64,9	61,9	64,6	64,6	64,7	59,7	64,7	64,9	63,82	1,81	2,8%

ANEXO 13 - Tabla de corrientes

Tabla 5 - Tabla de corrientes

Tiempo s	Corriente DC											
	100-1	100-2	100-3	110-1	110-2	110-3	120-1	120-2	120-3	Promedio	DES-EST	DES relativa
0	23,98	23,78	23,58	23,98	23,98	24,19	23,98	23,58	23,58	23,85	0,227	1,0%
600	23,98	23,58	23,58	23,78	23,98	24,19	23,98	23,58	23,58	23,80	0,237	1,0%
1200	23,58	23,37	23,17	23,58	23,78	23,37	23,58	23,37	23,17	23,44	0,203	0,9%
1800	23,37	22,97	22,97	23,17	23,37	23,17	23,37	22,97	22,97	23,15	0,188	0,8%
2400	22,97	22,76	22,56	22,97	23,17	22,97	22,97	22,76	22,76	22,88	0,179	0,8%
3000	22,76	22,36	22,36	22,56	22,76	22,56	22,76	22,56	22,36	22,56	0,176	0,8%
3600	22,56	22,15	22,15	22,36	22,56	22,36	22,56	22,15	22,15	22,34	0,188	0,8%
4200	22,15	21,75	21,75	21,95	22,36	21,95	22,15	21,75	21,75	21,95	0,227	1,0%
4800	21,75	21,54	21,34	21,54	21,95	21,75	21,95	21,34	20,93	21,57	0,328	1,5%
5400	21,34	20,53	20,53	21,14	21,54	21,14	21,54	20,73	17,07	20,62	1,386	6,7%
6000	20,73	11,38	13,21	18,09	20,93	19,11	20,93	14,63	9,55	16,51	4,406	26,7%
6600	12,40	6,91	7,72	10,16	15,24	10,37	17,28	8,13	5,89	10,46	3,865	37,0%
7200	6,71	3,66	5,69	6,30	8,74	6,50	10,37	5,49	3,46	6,32	2,201	34,8%
7800	3,46	2,64	3,46	3,46	5,49	4,07	6,10	3,25	2,03	3,77	1,289	34,2%
8400	2,24	1,83	2,44	2,24	3,25	2,44	4,27	2,03	1,42	2,46	0,840	34,2%
9000	1,42	1,42	1,83	1,42	2,24	1,63	3,05	1,42	1,42	1,76	0,556	31,6%
9600	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	2,03	1,42	1,42	1,49	0,203	13,6%
10200	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,63	1,42	1,42	1,45	0,067	4,7%
10800	1,42	0,00	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	0,00	0	0,95	0,711	75,0%

ANEXO 14 - Tabla de potencia

Tabla 6 - Tabla de potencia

Tiempo s	Potencia											
	100-1	100-2	100-3	110-1	110-2	110-3	120-1	120-2	120-3	Promedio	Desviación	DES relativa
0	1103,25	1179,51	1101,06	1105,65	1098,46	1122,28	1093,66	1103,41	1119,92	1114,13	26,26	2,4%
600	1187,20	1183,58	1185,93	1184,27	1180,00	1204,51	1187,20	1181,22	1185,93	1186,65	7,15	0,6%
1200	1183,58	1185,06	1181,71	1188,29	1186,65	1175,71	1183,58	1182,72	1181,71	1183,22	3,58	0,3%
1800	1185,06	1180,53	1185,12	1181,71	1180,39	1179,39	1185,06	1178,23	1187,42	1182,55	3,18	0,3%
2400	1178,23	1186,02	1184,45	1185,12	1186,34	1185,12	1178,23	1183,74	1190,57	1184,20	3,90	0,3%
3000	1172,36	1180,49	1180,49	1177,68	1179,19	1177,68	1181,46	1186,71	1184,96	1180,11	4,21	0,4%
3600	1186,71	1185,26	1187,48	1182,72	1182,20	1184,96	1184,45	1183,05	1191,91	1185,42	3,01	0,3%
4200	1180,83	1185,26	1183,09	1176,59	1187,20	1178,78	1185,26	1178,74	1189,61	1182,82	4,37	0,4%
4800	1176,57	1193,58	1184,45	1178,50	1183,17	1185,26	1189,76	1178,05	1187,01	1184,04	5,67	0,5%
5400	1175,91	1178,33	1180,39	1179,51	1180,65	1179,51	1189,27	1179,63	978,29	1157,94	67,47	5,8%
6000	1194,15	648,78	757,01	1036,52	1180,73	1098,58	1189,11	840,00	544,51	943,27	250,92	26,6%
6600	705,47	392,52	439,47	577,24	870,43	591,89	993,39	464,23	337,15	596,87	222,44	37,3%
7200	380,30	208,54	325,53	360,41	496,42	370,73	591,89	315,00	197,64	360,72	125,21	34,7%
7800	196,26	150,35	197,30	196,61	312,80	232,11	348,78	185,69	115,65	215,06	73,88	34,4%
8400	126,77	104,09	139,27	127,22	185,04	138,54	244,15	116,26	81,95	140,36	48,01	34,2%
9000	80,96	85,79	104,09	80,81	126,99	92,52	174,09	81,24	90,63	101,90	30,88	30,3%
9600	89,49	91,34	81,24	89,49	80,81	87,93	115,85	90,49	92,05	90,97	10,20	11,2%

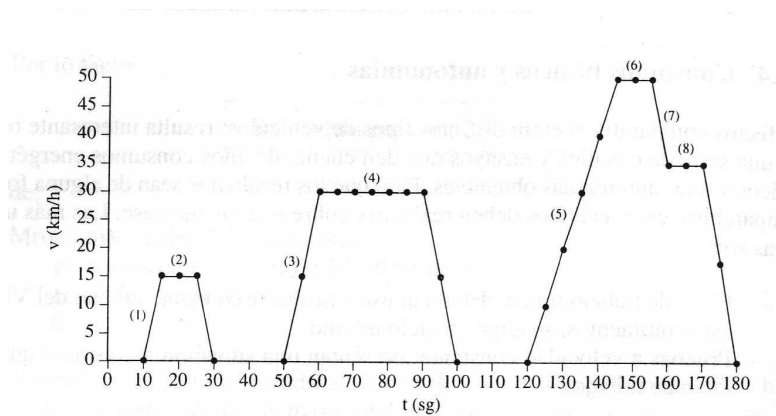
ANEXO 15. Pruebas Dinámicas Ciclo adecuado

Resultados de las pruebas Dinámicas para el Ejercicios 1 y 2, primera repetición

Para determinar los ciclos que se llevarían a cabo para las pruebas del presente trabajo se tomó como base el Ciclo Europeo ECE-15, (Ver Figura 30), el cual incluye aceleraciones, arranques, frenadas, velocidad y conducción irregular [12]. Este, según la norma consiste en:

- Pasar de 0 a 15 km/h en 5 s (1)
- Mantener a 15 km/h durante 10 s (2)
- Pasar de 0 a 30 km/h en 10 s (3)
- Mantener a 30 km/h durante 30 s (4)
- Pasar de 0 a 50 km/h en 25 s (5)
- Mantener a 50 km/h durante 10 s (6)
- Pasar de 50 a 35 km/h en 5 s (7)
- Mantener a 35 km/h durante 10 s (8)

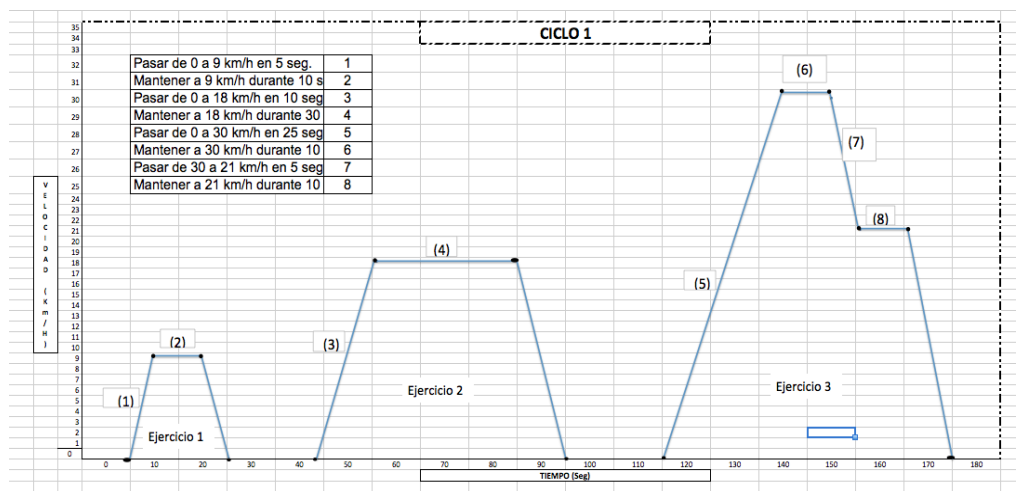
Figura 30. Ciclo Urbano Europeo Tipo ECE-15



Sin embargo, fue necesario hacer una adecuación de las velocidades propuestas en el Ciclo europeo que se adaptaran al Prototipo CE 1, pues este presenta características mecánicas diferentes a las propuestas por el ciclo europeo. Dicha adaptación consistió en: (Ver tabla 7 y Figura 31).

Tabla 7. Velocidad adecuada para el Prototipo CE 1

Pasar de 0 a 9 km/h en 5 seg.	1
Mantener a 9 km/h durante 10 seg.	2
Pasar de 0 a 18 km/h en 10 seg.	3
Mantener a 18 km/h durante 30 seg.	4
Pasar de 0 a 30 km/h en 25 seg.	5
Mantener a 30 km/h durante 10 seg.	6
Pasar de 30 a 21 km/h en 5 seg.	7
Mantener a 21 km/h durante 10 seg.	8

Figura 31. Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1

El procedimiento para las pruebas dinámicas se definió a partir del ciclo de ruta urbano de la Norma Europea ECE-15 con adaptaciones. Este tiene el fin de evaluar el comportamiento el voltaje, la corriente, la temperatura en las baterías, (Ver Ilustración 4) diagrama de flujo para pruebas dinámicas (Vehículo en funcionamiento).

La ruta planeada se ubicó en la Avenida Ciudad de Cali entre las calles 153 y calle 167 (Ver Fotografía 22). De Sur a Norte se realizaron los ejercicios 1 y 2, y de Norte a Sur, el ejercicio 3.

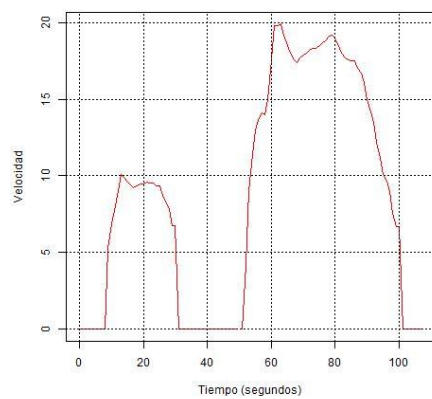
Fotografía 22. Ruta de los ciclos ECE-15 adecuados



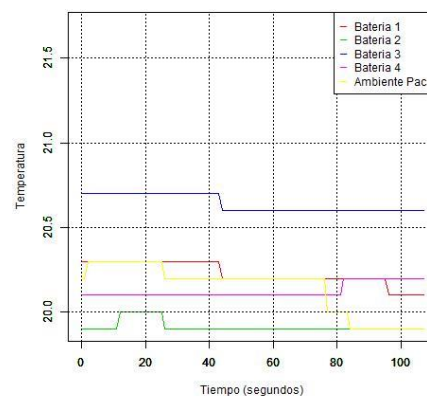
Fuente: Google Earth

Pruebas dinámicas ejercicio 1 y 2

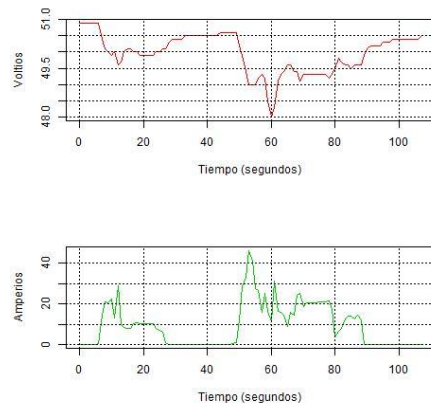
Figura 32. Resultados del ejercicio 1 y 2, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.



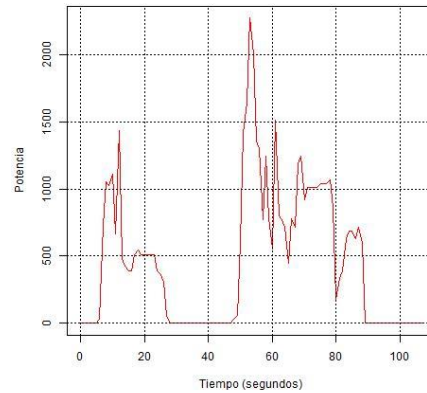
a)



b)



c)



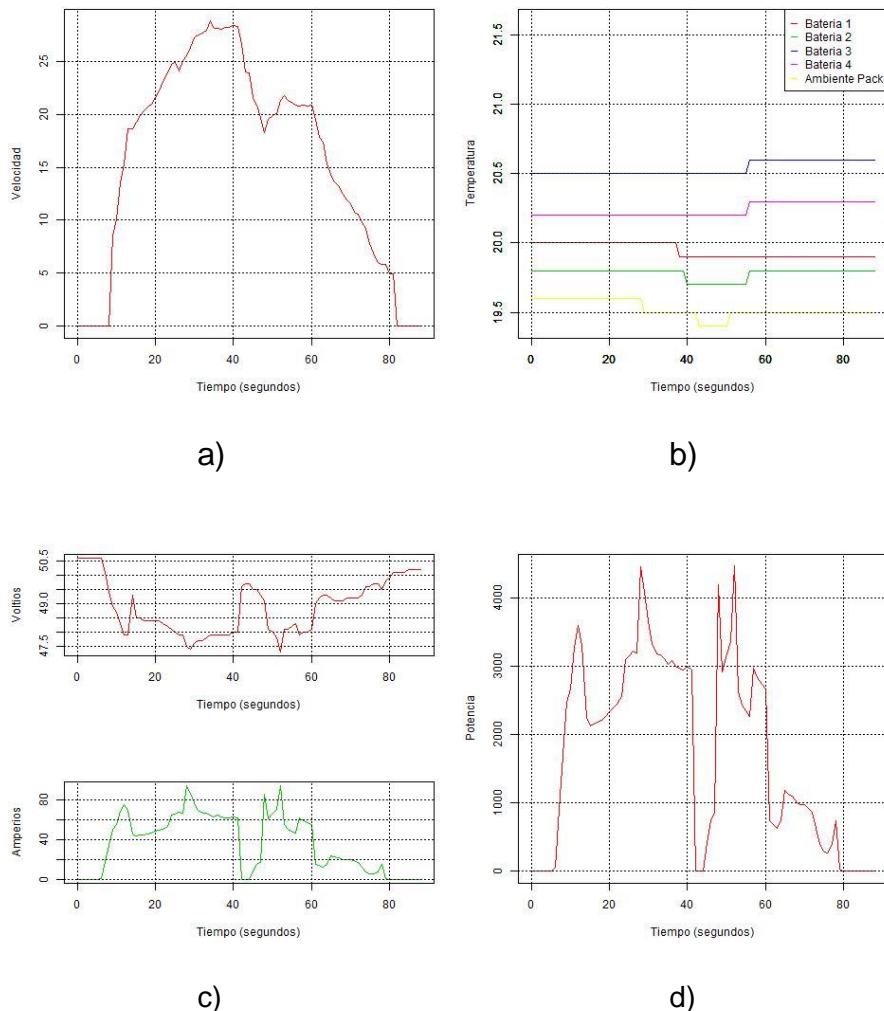
d)

Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas dinámicas en los ejercicios 1 y 2. La Figura 31 Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1 representa el patron de manejo utilizado; la Figura 32 a) muestra el comportamiento de la velocidad que se ajustó para la prueba de primer ejercicio con una velocidad 9 km/h durante un tiempo de 10 segundos y existe un momento de reposo. Luego un segundo ejercicio donde la velocidad aumenta 18 km/h y se mantiene durante un tiempo de 30 segundos. La Figura 32 b) indica el comportamiento de las baterías y el pack que es donde se encuentran almacenadas. En la Figura 32 c) Voltaje DC y Corriente DC se observa el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 51V y un valor mínimo de 48V, esta fluctuación de voltaje es debido a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, esto significa que cuando el Prototipo CE-1 tiene una velocidad máxima el voltaje disminuye y la corriente aumenta, pero cuando la velocidad es mínima el voltaje aumenta y la corriente disminuye. La Figura 32 d) Potencia, muestra la potencia demandada por el Prototipo CE-1 y muestra los picos de potencia, los cuales son causados por la aceleración del vehículo. Esta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt donde el producto del voltaje DC por la corriente DC.

La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 49519,04 J. La distancia recorrida para esta prueba fue 262 metros.

Resultados pruebas Dinámicas para el Ejercicio 3 primera repetición

Figura 33. Resultados del ejercicio 3, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia



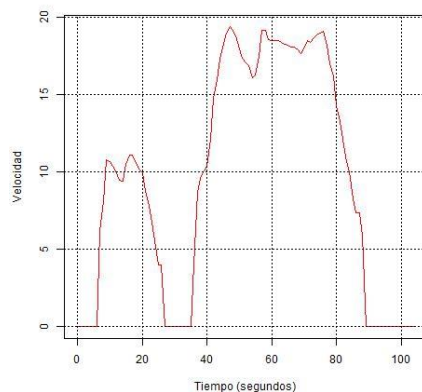
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para la prueba dinámica en el ejercicio 3, la Figura 31 Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1, representa el patrón de manejo utilizado; la Figura 33 a) muestra el comportamiento de la velocidad que se ajustó para el ejercicio 3, donde el vehículo debe ascender a la velocidad máxima en 25s y mantenerla durante 10s, luego una desaceleración para mantener una velocidad de 21 km/h durante 10s. La Figura 33 b) indica el comportamiento de las baterías

y el pack que es donde se encuentran almacenadas, donde la temperatura más alta es 20,6 °C y la temperatura mínima es de 19,8°C. La Figura 33 c) Voltaje DC y Corriente DC presenta el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 50,5V y un valor mínimo de 47,5V, esta fluctuación de voltaje se debe a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, donde la velocidad máxima alcanzada es 28,8 km/h y la demanda de corriente aumenta cuando el voltaje disminuye. La Figura 33 d) potencia, muestra la demanda de energía por el Prototipo CE-1 y muestra 7 de los picos de potencia, los cuales son causados por la aceleración del vehículo para cumplir con el ciclo urbano europeo ECE-15 adecuado. Ésta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt, que es el producto del voltaje DC por la corriente DC. La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 154432,89 J y la distancia recorrida para esta prueba fue 390 metros.

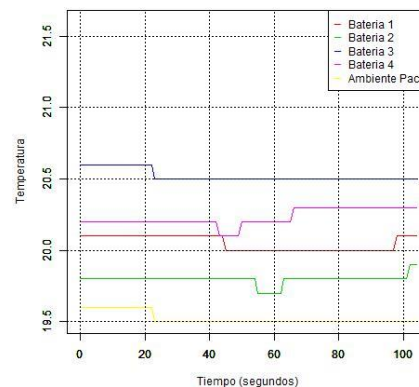
Con estas pruebas se cumple un ciclo completo adecuado para el Prototipo CE-1 que busca evaluar su comportamiento mientras está en funcionamiento, a partir de una serie de repeticiones donde las variables se comportan como se explicó en los ejercicios anteriores.

Resultados de las pruebas Dinámicas para el Ejercicio 1 y 2 Segunda repetición

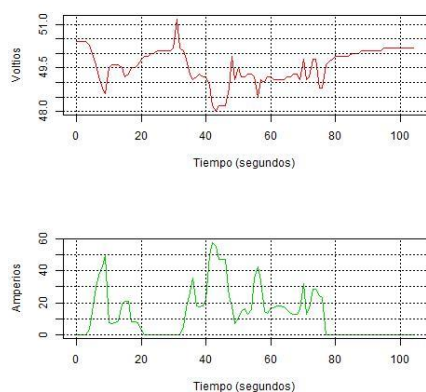
Figura 34. Resultados del ejercicio 1 y 2 segunda repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.



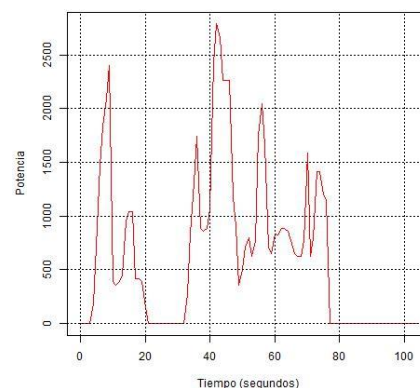
a)



b)



c)

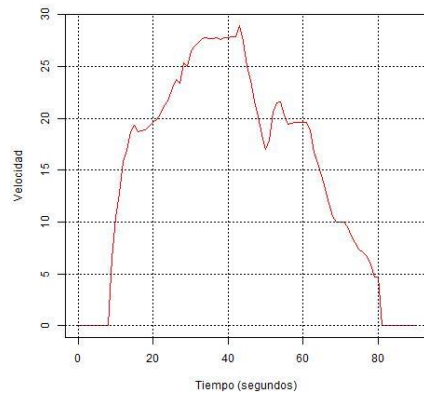


d)

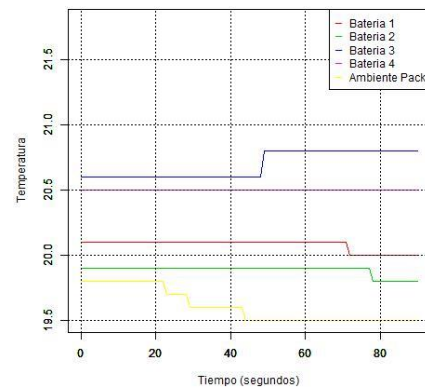
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas dinámicas en los ejercicios 1 y 2. Segunda repetición. La Figura 31 Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1, representa el patron de manejo utilizado; la Figura 34 a) muestra el comportamiento de la velocidad que se ajustó para la prueba de primer ejercicio con una velocidad 9 km/h durante un tiempo de 10 segundos y existe un momento de reposo. Luego un segundo ejercicio donde la velocidad aumenta 18 km/h y se mantiene durante un tiempo de 30 segundos. La Figura 34 b) indica el comportamiento de las baterías y el pack que es donde se encuentran almacenadas. En la Figura 34 c) Voltaje DC y Corriente DC se observa el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 50,4V y un valor mínimo de 48V, esta fluctuación de voltaje es debido a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, esto significa que cuando el Prototipo CE-1 tiene una velocidad máxima el voltaje disminuye y la corriente aumenta, pero cuando la velocidad es mínima el voltaje aumenta y la corriente disminuye. La Figura 34 d) Potencia, muestra el consumo demandado por el Prototipo CE-1 y se observan los picos de potencia, los cuales son causados por la aceleración del vehículo. Esta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt donde el producto del voltaje DC por la corriente DC. La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 65779,82 J. La distancia recorrida para esta prueba fue de 280 metros.

Resultados pruebas Dinámicas para el Ejercicio 3 segunda repetición

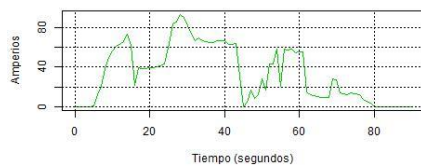
Figura 35. Resultados del ejercicio 3 segunda repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia



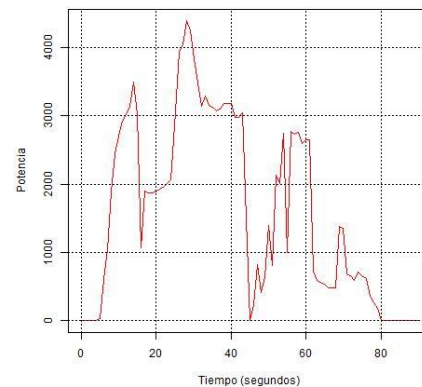
a)



b)



c)



d)

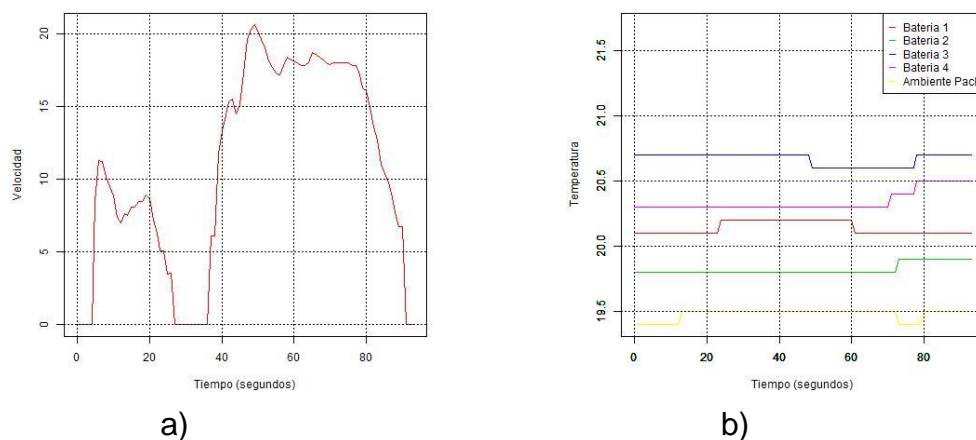
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las prueba dinámicas en el ejercicio 3. La Figura 31. Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1, representa el patrón de manejo utilizado; La Figura 35 a) muestra el comportamiento de la velocidad que se ajustó para el ejercicio 3, donde el vehículo debe ascender a la velocidad máxima en 25s y mantenerla durante 10s, luego una desaceleración para mantener una velocidad de 21 km/h durante 10s. La Figura 35 b) indica el comportamiento de las baterías

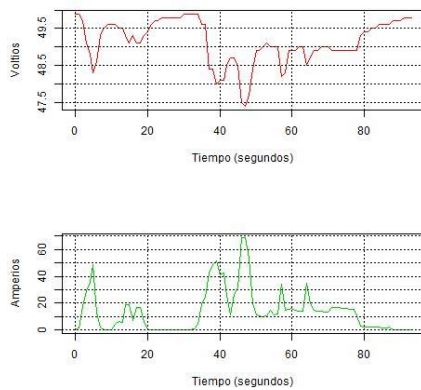
y el pack que es donde se encuentran almacenadas, donde la temperatura más alta es 20.8°C y la temperatura mínima es de 19,5 °C. La Figura 35 c) Voltaje DC y Corriente DC presenta el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 50,2 V y un valor mínimo de 47V, esta fluctuación de voltaje se debe a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, donde la velocidad máxima alcanzada es 28,9 km/h y la demanda de corriente aumenta cuando el voltaje disminuye La Figura 35 d) potencia, muestra los picos de potencia demandada por el Prototipo CE-1, los cuales son causados por la aceleración del vehículo para cumplir con el ciclo urbano europeo ECE-15 adecuado. Ésta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt, que es el producto del voltaje DC por la corriente DC. La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 146319,08 J y la distancia recorrida para esta prueba fue 377 metros.

Con estas dos pruebas se cumple el segundo ciclo completo adecuado para el Prototipo CE-1 que busca evaluar su comportamiento.

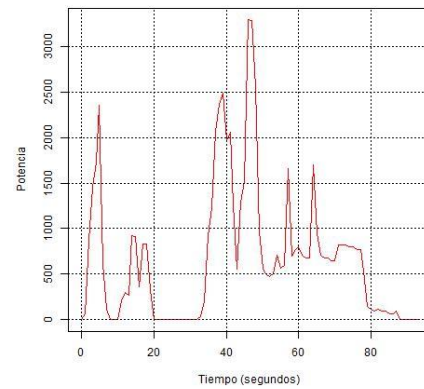
Resultados de las pruebas Dinámicas para el Ejercicio 1 y 2 Tercera repetición

Figura 36. Resultados del ejercicio 1 y 2 tercera repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.





c)

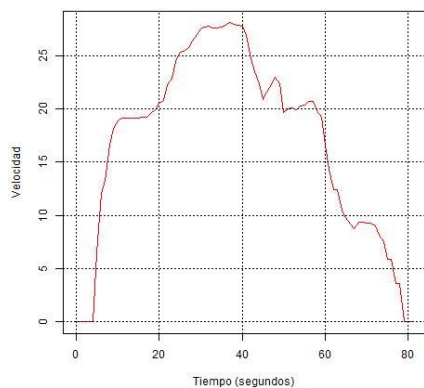


d)

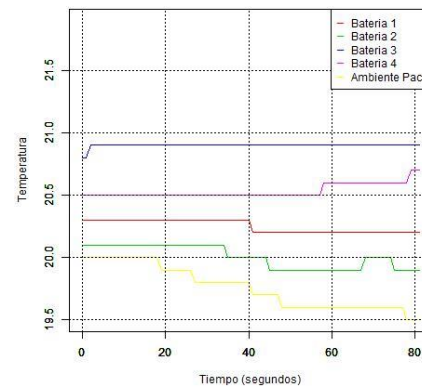
Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las pruebas dinámicas en los ejercicios 1 y 2. Tercera repetición. La Figura 31 Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1, representa el patron de manejo utilizado; la Figura 36 a) muestra el comportamiento de la velocidad que se ajustó para la prueba de primer ejercicio con una velocidad 9 km/h durante un tiempo de 10 segundos y existe un momento de reposo. Luego un segundo ejercicio donde la velocidad aumenta 18 km/h y se mantiene durante un tiempo de 30 segundos. La Figura 36 b) indica el comportamiento de las baterías y el pack que es donde se encuentran almacenadas. En la Figura 36 c) Voltaje DC y Corriente DC se observa el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 49,9 V y un valor mínimo de 47,4 V, esta fluctuación de voltaje es debido a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, esto significa que cuando el Prototipo CE-1 tiene una velocidad máxima el voltaje disminuye y la corriente aumenta, pero cuando la velocidad es mínima el voltaje aumenta y la corriente disminuye. La Figura 36 d) Potencia, muestra la demanda de energía por el Prototipo CE-1 y muestra los picos de potencia, los cuales son causados por la aceleración del vehículo. Esta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt donde es producto del voltaje DC por la corriente DC. La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 63073,07J. La distancia recorrida para esta prueba fue 282 metros.

Resultados pruebas Dinámicas para el Ejercicio 3 tercera repetición

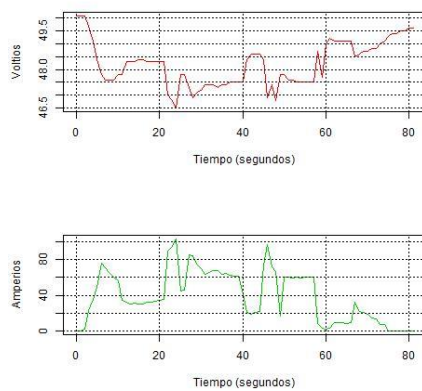
Figura 37. Resultados del ejercicio 3 tercera repetición, a) velocidad, b) temperatura, c) voltaje DC y corriente DC, d) Potencia.



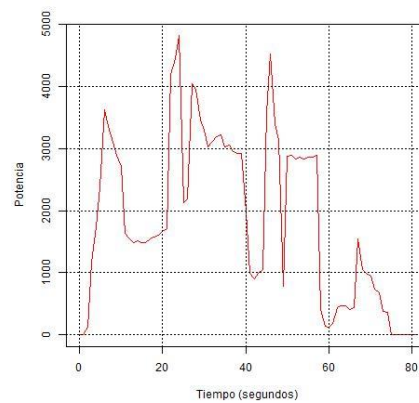
a)



b)



c)



d)

Las figuras anteriores representan los resultados del comportamiento de las variables analizadas para las prueba dinámicas en el ejercicio 3 durante la tercera repetición. La Figura 31 Ciclo Urbano Adecuado Prototipo CE- 1, representa el patrón de manejo utilizado; la Figura 37 a) muestra el comportamiento de la

velocidad que se ajustó para el ejercicio 3, donde el vehículo debe ascender a la velocidad máxima en 25 s y mantenerla durante 10s, luego una desaceleración para mantener una velocidad de 21 km/h durante 10 s. La Figura 37 b) indica el comportamiento de las baterías y el pack que es donde se encuentran almacenadas, donde la temperatura más alta es 20,8 °C y la temperatura mínima es de 19,5 °C. La Figura 37 c) Voltaje DC y Corriente DC presenta el comportamiento del voltaje que inicia con un valor máximo de 50,2 V y un valor mínimo de 46,9 V, esta fluctuación de voltaje se debe a que la referencia del voltaje DC varía en función de la velocidad, donde la velocidad máxima alcanzada es 28,1 km/h y la demanda de corriente aumenta cuando el voltaje disminuye. La Figura 37 d) potencia, muestra los picos de potencia demandada por el Prototipo CE-1, los cuales son causados por la aceleración del vehículo para cumplir con el ciclo urbano europeo ECE-15 adecuado. Ésta potencia es el resultado de la aplicación de la Ley de Watt, que es el producto del voltaje DC por la corriente DC. La energía consumida es el área bajo la curva de la potencia que equivale a 152360,42 J y la distancia recorrida para esta prueba fue 389 metros.

Análisis de resultados de las pruebas dinámicas del ciclo urbano europeo ECE-15 adecuado con tres repeticiones

Los resultados obtenidos en el primer ciclo fueron los siguientes: el tiempo fue 195 segundos y una distancia de 652 metros, la energía consumida del vehículo fue de 56,64 wh. En el segundo ciclo el tiempo fue de 194 segundos y la distancia recorrida fue 657 metros, la energía consumida fue de 58,91 wh.

En el tercer ciclo el tiempo fue de 174 segundos y la distancia recorrida fue de 671 metros, la energía consumida en este ciclo fue de 59,84 wh. Realizando un promedio de los resultados se obtiene un tiempo de 187,6 segundos, y una distancia de 660 metros y una energía de 58,46 wh.

$$n^{\circ} \text{ de ciclos} = \frac{\text{Autonomía}}{\text{Longitud recorrida en un ciclo}} = \frac{23000}{660} = 34,84 \quad (\text{Eq 1}) [6]$$

Ec =Energía del ciclo

ET= Energía Total

ET=Ec * n° de ciclos = 58.46 wh * 34.84

ET= 2037,35 wh

ET= 2,03 kWh

Tiempo de descarga

$$t_{descarga} = t_{ciclo} * n^{\circ} de ciclos = 187,6 segundos * 34.84 = 6535.98 segundos = 108.97 minutos$$

(Eq 2) [6]

$$t_{ciclo} = \text{Tiempo de duracion de un ciclo adecuado}$$

$$n^{\circ} de ciclos = \frac{Autonomía}{Longitud recorrida en un ciclo}$$

Capacidad de la batería:

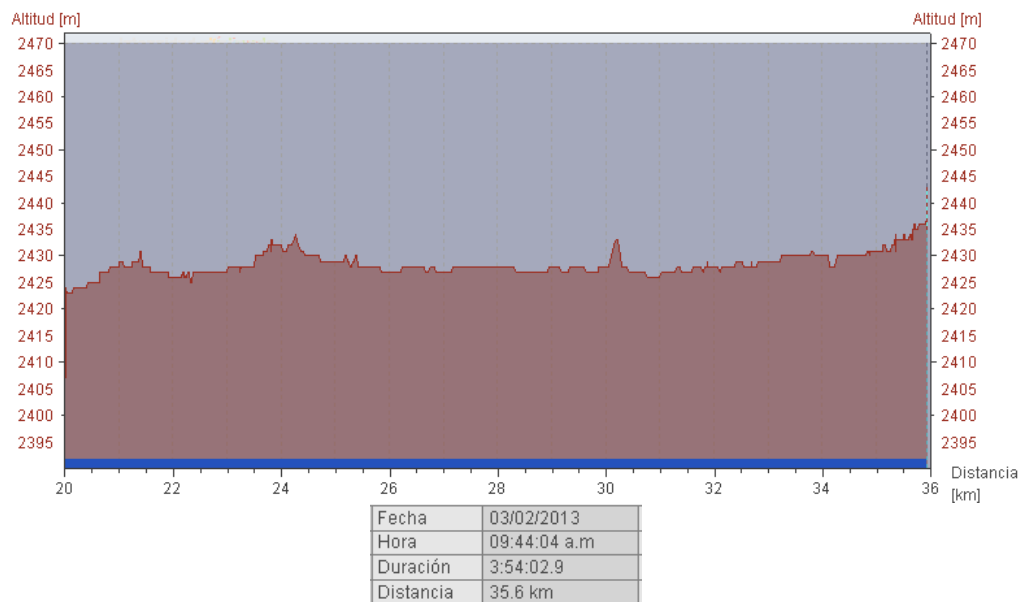
$$C_{Ah} = \frac{ET}{V} = \frac{2037,35wh}{48v} = 42,44Ah$$

(Eq 3) [6]

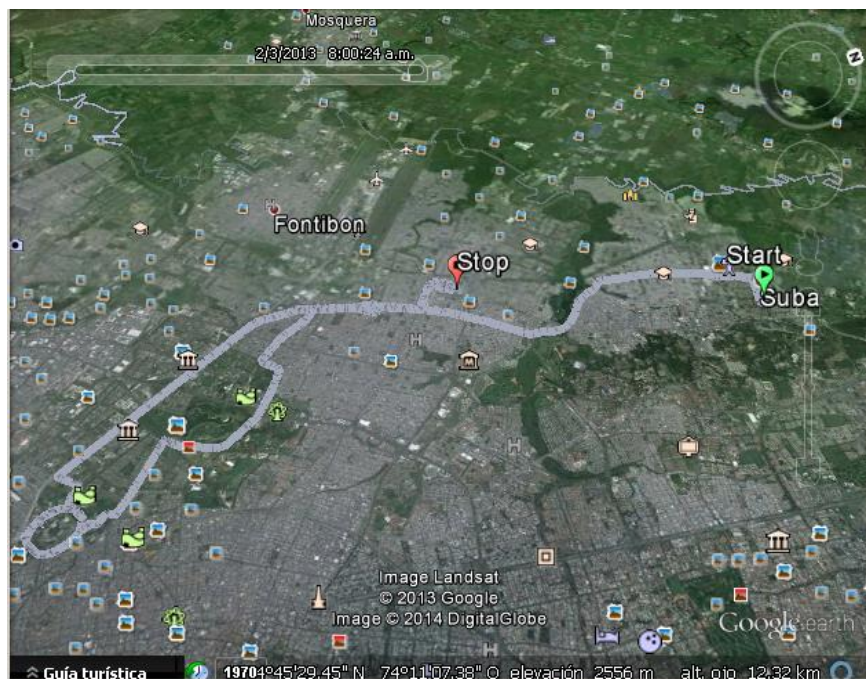
$$C_{Ah} = \text{Capacidad de las Cuatro Bateria en Amperios hora}$$

ANEXO 16 - Prueba preliminar sin carrocería. Evaluación de autonomía, incidencia del peso

Figura 38. Autonomía sin carrocería



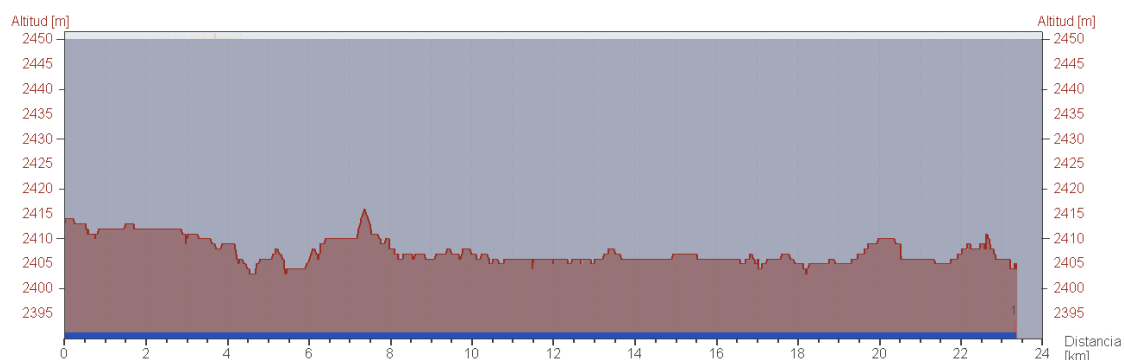
Fotografía 23. Prueba preliminar Autonomía sin carrocería



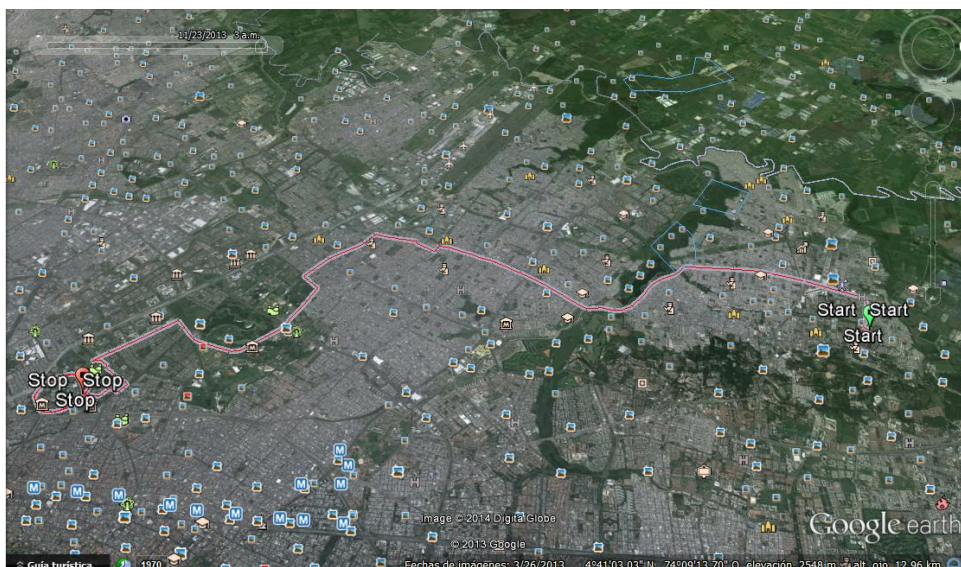
Fuente: Google Earth

ANEXO 17 - Prueba preliminar con carrocería. Evaluación de autonomía, incidencia del peso

Figura 39. Autonomía con carrocería



Fotografía 24. Prueba preliminar Autonomía con carrocería



Fuente: Google Earth

Recommended Charging Information:

Alternator:	13.65 to 15.0 volts
Battery Charger (Constant Voltage):	13.8 to 15.0 volts; 10 amps maximum; 6-12 hours approximate
Float Charge:	13.2 to 13.8 volts; 1 amp maximum (indefinite time at lower voltages)
Rapid Recharge: (Constant voltage charger)	Maximum voltage 15.6 volts. No current limit as long as battery temperature remains below 50°C (125°F). Charge until current drops below 1 amp.
Cyclic or Series String Applications:	14.7 volts. No current limit as long as battery temperature remains below 50°C (125°F). When current falls below 1 amp, finish with 2 amp constant current for 1 hour. All limits must be strictly adhered to.

Recharge Time: (example assuming 100% discharge – 10.5 volts)

Current	Approx. time to 90% charge
100 amps	35 minutes
50 amps	75 minutes
25 amps	140 minutes

Recharge time will vary according to temperature and charger characteristics. When using Constant Voltage chargers, amperage will taper down as the battery becomes recharged. When amperage drops below 1 amp, the battery will be close to a full state charge.

(All charge recommendations assume an average room temperature of 25°C, 77°F)

Always wear safety glasses when working with batteries.

Always use a voltage regulated battery charger with limits set to the above ratings. Overcharging can cause the safety valves to open and battery gases to escape, causing premature end of life. These gases are flammable! You cannot replace water in sealed batteries that have been overcharged. Any battery that becomes very hot while charging should be disconnected immediately.

Not fully charging a battery can result in poor performance and a reduction in capacity.

Shipping and Transportation Information:

OPTIMA batteries can be shipped by AIR. The battery is nonspillable and is tested according to ICAO Technical Instructions DOC. 9284-AN/905 to meet the requirements of Packing Instructions No. 806 and is classified as non-regulated by IATA Special Provision A-48 and A-67 for UN2800. Terminals must be protected from short circuit.

Manufacturing Location:

OPTIMA Batteries
17500 East 22nd Avenue
Aurora, CO 80011
United States of America
Phone: 303-340-7400
Fax: 303-340-7474

BCI = Battery Council International

OPTIMA Batteries
Product Specifications: Model YT S 4,2
June 2005

ANEXO 19. Fotografías del Vehículo Adecuado a Eléctrico Terminado



Fotografía 25. Vista Frontal del CE-1 Adecuado



Fotografía 26. Vista Posterior del CE-1 Adecuado



Fotografía 27. Vista Superior del CE-1 Adecuado y Terminado



Fotografía 28. Vista lateral del CE-1 Adecuado y Terminado